

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program:  
Studijní zaměření:

B 2301 Strojní inženýrství  
Dopravní a manipulační technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Technický návrh low-cost manipulačního jeřábu.

Autor:

**Jakub Radkovský**

Vedoucí práce:

**Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub RADKOVSKÝ**  
Osobní číslo: **S16B0324P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Téma práce: **Technický návrh low-cost manipulačního jeřábu**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Zásady pro vypracování

#### Základní požadavky:

Cílem této práce je navrhnout technické řešení dílenského manipulačního jeřábu s požadavkem nízkonákladovosti pro zdvihání menších břemen. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost z hlediska vyrobitelnosti a výrobních nákladů. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.

#### Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

#### Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce.
2. Vypracování rozboru technických parametrů a návrhu variant řešení.
3. Zhodnocení navržené konstrukční varianty.

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran A4**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

PROKEŠ, J., VOSTROVSKÝ, J.: *Hydraulické a pneumatické mechanismy*. Praha: SNTL, 1988  
SHIGLLEY, J., E., MISCHKE, C., R., BUDYNAS, R., G. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUT v Brně, 2010  
*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů


Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan



---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Josefovi Formánkovi, Ph.D. za konzultace a poskytnuté rady při vypracovávání této práce.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Radkovský	<b>Jméno</b> Jakub	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Dopravní a manipulační technika		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Formánek, Ph. D.	<b>Jméno</b> Josef	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU – FST – KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<del>DIPLOMOVÁ</del>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Technický návrh low-cost manipulačního jeřábu.		

<b>FAKULTA</b>	STROJNÍ	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	52	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	50	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce obsahuje návrh 3 koncepčních řešení dílenského jeřábu. Konstrukční návrh zvolené varianty doplněný o základní pevnostně deformační analýzu.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	jeřáby, konstrukční návrh, CAD, MKP, SWOT

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>SURNAME</b> Radkovský	<b>NAME</b> Jakub	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Transport and handling machinery		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Formánek, Ph. D.	<b>Name</b> Josef	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	<b>Cross when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Engineering design of a low-cost workshop crane.		

<b>FACULTY</b>	MECHANICAL ENGINEERING	<b>DEPARTMEN</b>	MACHINE DESIGN	<b>SUBMITTED IN</b>	2020
----------------	---------------------------	------------------	-------------------	-------------------------	------

## NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTAL</b>	52	<b>TEXT PART</b>	50	<b>GRAPHICAL PART</b>	2
--------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESRIPTION</b>	Bachelor thesis consists of 3 crane designs. One design is CAD modelled and checked by FEM
<b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	
<b>KEY WORDS</b>	CAD, cranes, SWOT, FEM

# 1 Obsah

Seznam obrázků .....	7
Seznam tabulek .....	8
2 Úvod .....	9
3 Rozpracování zadání.....	9
3.1 Základní funkční prvky dílenských jeřábů.....	9
3.1.1 Upínání .....	9
3.1.2 Zdvih .....	9
3.1.3 Podvozek .....	9
3.1.4 Manipulace a ovládání .....	10
3.1.5 Pojezd .....	10
3.2 Průzkum stavu techniky.....	11
3.3 Specifikace požadavků na technický systém (TS) .....	14
4 Koncepční návrh TS .....	17
4.1 Návrh černé skříňky provozního transformačního procesu .....	17
4.2 Návrh technologie provozního transformačního procesu .....	17
4.3 Navržené koncepční varianty .....	17
4.3.1 Varianta A .....	18
4.3.2 Varianta B .....	19
4.3.3 Varianta C .....	20
4.4 Hodnocení koncepčních variant .....	21
4.5 Zlepšení předběžného návrhu .....	23
4.5.1 Analýza zvolené koncepční varianty .....	23
4.5.2 Zlepšení předběžného návrhu.....	24
4.6 SWOT analýza a hodnocení vhodnosti alternativ.....	25
5 Konstrukce zařízení .....	30
5.1 Základní výpočet.....	30
5.1.1 Stanovení reakcí v uložení.....	30
5.1.2 Volba materiálu .....	31
5.1.3 Stanovení orientačního průřezu.....	32
5.1.4 Stanovení požadavků na hydraulický válec.....	34
5.1.5 Stanovení osové vzdálenosti a minimálního průřezu kotvícího lana .....	34



5.2	Konstrukční provedení.....	37
5.3	Kontrola namáhání a deformací .....	40
5.3.1	Kontrola sestavy podélného ramene objemovou metodou .....	40
5.3.2	Kontrola sestavy podélného ramene pomocí idealizace .....	42
5.3.3	Kontrola sestavy jeřábu pomocí idealizace .....	44
5.3.4	Vyhodnocení kontroly namáhání a deformací .....	46
6	Ekonomické hodnocení konstrukčního provedení.....	46
7	Závěr .....	50
8	Zdroje .....	51
8.1	Internetové .....	51
8.2	Knižní.....	52

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Dílenský jeřáb s paletovým podvozkem.....	11
Obrázek 2 – Dílenský jeřáb s nůžkovým podvozkem .....	12
Obrázek 3 – Sloupový dílenský jeřáb s protizávažím .....	13
Obrázek 4 - Návrh černé skříňky .....	17
Obrázek 5 - Návrh technologie provozního transformačního procesu.....	17
Obrázek 6 – Konstrukční návrh koncepční varianty A.....	19
Obrázek 7 – Konstrukční návrh koncepční varianty B.....	20
Obrázek 8 – Konstrukční návrh koncepční varianty C.....	21
Obrázek 9 - Hodnocení koncepčních variant .....	22
Obrázek 10 – Koncepční varianta C s vyznačenými rizikovými oblastmi .....	23
Obrázek 11 – Skica detailu kritické osové vzdálenosti v rizikové oblasti 1).....	24
Obrázek 12 – Skica konstrukčního návrhu nového provedení madla.....	25
Obrázek 13 – Diagram váženého hodnocení naplnění požadavků výchozího stavu .....	29
Obrázek 14 - Diagram váženého hodnocení naplnění požadavků pro zlepšenou variantu .....	29
Obrázek 15 - Zjednodušený výpočtový model podélného ramene .....	30
Obrázek 16 - Zjednodušený model pro výpočet modulu průřezu v ohybu .....	32
Obrázek 17 – Graf rozložení smykové síly T a ohybového momentu M napříč nosníkem .....	33
Obrázek 18 - Zjednodušený výpočtový model pro výpočet ukotvení lana podélného ramene ...	34
Obrázek 19 – Zjednodušený výpočtový model stanovení průřezu kotvícího lana .....	35
Obrázek 20 – Celkový pohled na sestavu jeřábu z perspektivy .....	37
Obrázek 21 – Celkový pohled na sestavu jeřábu zprava.....	38
Obrázek 22 – Detailní pohled na pojistný mechanismus .....	38
Obrázek 23 – Detailní pohled na oblast podélného ramene .....	39
Obrázek 24 – Detail lokální chyby výpočtu redukovaného napětí metodou HMH [MPa] vlivem singularity .....	40
Obrázek 25 – Redukované napětí dle metody HMH [MPa] a celková deformace [mm] sestavy podélného ramene – objemově.....	41
Obrázek 26 – Vypočtené reakce v uložení [mN] .....	42
Obrázek 27 – Ukázka výpočtového modelu pomocí idealizace s definovanými okrajovými podmínkami.....	42
Obrázek 28 - Redukované napětí dle metody HMH [MPa] a celková deformace [mm] sestavy podélného ramene – idealizace .....	43
Obrázek 29 – Deformace [mm] sestavy jeřábu ve svislém směru (osa Z) – idealizace.....	44
Obrázek 30 – Redukované napětí dle metody HMH [MPa] a celková deformace [mm] sestavy jeřábu – idealizace.....	45

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Specifikace parametrů dílenského jeřábu s paletovým podvozkem .....	11
Tabulka 2 – Specifikace parametrů dílenského jeřábu s nůžkovým podvozkem.....	12
Tabulka 3 – Specifikace parametrů dílenského sloupového jeřábu s protizávažím .....	13
Tabulka 4 - Specifikace požadavků na TS [4] .....	14
Tabulka 5 – Hodnocení koncepčních variant .....	21
Tabulka 6 – Specifikace požadavků na TS s analýzou SWOT [4] .....	25
Tabulka 7 – Tabulka výsledných hodnot pro osovou vzdálenost $d+c = 0,24$ m .....	36
Tabulka 8 – Porovnání výsledných reakcí .....	42
Tabulka 9 – Porovnání celkových deformací objemového a idealizovaného řešení .....	44
Tabulka 10 – Požadavky k manažerským informacím (výňatek z Tabulka 4, str. 15) .....	46
Tabulka 11 – Kalkulace základního normalizovaného materiálu [6],[7],[8].....	47
Tabulka 12 – Kalkulace normalizovaného spojovacího materiálu [9],[10],[11],[12],[13].....	48
Tabulka 13 – Kalkulace materiálu nepodléhajícího normám[14],[15],[16],[17],[18] .....	49
Tabulka 14 – Sumarizace nákladů .....	49

## 2 Úvod

Drobné manipulační jeřáby jsou obvykle konstrukčně velmi jednoduché stroje, umožňující zdvih a transport břemene na krátké vzdálenosti, zejména v prostředí výrobních hal a servisních dílen. Pohon zdvihu bývá typicky řešen pomocí jednostupňového hydraulického válce s manuálním ovládním. Pohyb celého stroje v pracovním prostředí je pak zpravidla zajištěn lidskou silou. Tato konstrukční jednoduchost, s minimem pohyblivých částí, propůjčuje jeřábům tohoto typu dlouhou životnost, vysoké pracovní využití a minimální nutnost údržby i při intenzivním využití.

Výjimkou však nejsou ani výrazně složitější stroje, určené pro speciální využití. Příkladem mohou být jeřáby s elektrickým pohonem pohybu a/nebo hydraulického zdvihu, jeřáby s více stupňovým zdvihem či jeřáby doplněné o závěsná a polohovací zařízení.

## 3 Rozpracování zadání

### 3.1 Základní funkční prvky dílenských jeřábů

#### 3.1.1 Upínání

Jedno z řešení upínání břemene je pomocí závěsného háku, který často bývá doplněn západkou. Toto řešení je velice praktické, umožňuje rychlé a dostatečně pevné upnutí zdvihaného objektu a zároveň zpětná západka eliminuje riziko samovolného uvolnění břemene a tím významně zvyšuje bezpečnost práce. Tento způsob patří mezi nejrozšířenější metody upínání. Samotný hák bývá spojen se zdvihacím ramenem bez možnosti natočení, a nebo pomocí otočného kloubu, případně je hák zavěšen z ramene pomocí řetězu. Mezi alternativní způsoby upínání, mimo jiné, patří vázací oko, karabina či vázací řetěz.

#### 3.1.2 Zdvih

Zdvih upnutého břemene může být řešen mechanicky, hydraulicky, elektricky nebo pneumaticky. Mezi nejběžnější metody patří zdvih hydraulický a elektrický, potažmo jejich kombinace. Čistě hydraulický systém umožňuje bezproblémový zdvih velmi těžkých břemen. V porovnání s elektrickým či elektro-hydraulickým systémem nevyžaduje zdroj elektrické energie a může být ovládán zcela manuálně. V optimálních provozních podmínkách lze dosáhnout vysoké spolehlivosti s minimální nutností údržby, díky čemuž lze i při intenzivním využití dosáhnout minimálních provozních nákladů.

#### 3.1.3 Podvozek

Podvozkové uspořádání přímo určuje typ a rozměr vzniklé užitné plochy. V praxi se ujal zejména tři základní koncepční řešení podvozkové platformy – nůžkové, paletové a sloupové.

Paletové uspořádání podvozku umožňuje najet jeřábem přímo nad euro paletu a tím snižuje počet nutných manipulačních úkonů v případě, že břemeno je přepravováno mezi operacemi na paletě. Zároveň se toto řešení vyznačuje vysokou stabilitou celého jeřábu. Z výše zmíněných koncepčních uspořádání má však paletový podvozek při obdobných parametrech celku největší půdorys.

Nůžkový podvozek má rozevření podvozkových nosníků o určitém úhlu. Úhel sevření přímo ovlivňuje rozměry nutného manipulačního prostoru. S klesajícím úhlem klesá i nutný

manipulační prostor, zároveň s úhlem však klesá i stabilita jeřábu. Totéž platí i při růstu úhlu nad určitou mezní hodnotu, jen dojde k výměně směrů, v kterých se manipulační prostor zmenšuje a labilita stoupá. Ze zmíněných variant se nůžkové uspořádání, při standardních hodnotách úhlu rozevření, vyznačuje střední velikostí půdorysu.

Sloupové uspořádání má ze zmíněných variant potenciálně největší manipulační prostor, avšak vzhledem k absenci opory v podobě podvozkových nohou vyžaduje toto uspořádání ve sloupu protizávaží či ukotvení sloupu k podkladu. Z uvedených koncepčních variant má nejmenší půdorys.

#### **3.1.4 Manipulace a ovládání**

Ovládání při pohybu jeřábu obvykle zajišťují říditka na principu dvojramenné páky na zadní straně jeřábu. Ovládání zdvihu bývá obvykle řešeno jednoramennou pákou kombinující zdvih pumpováním a snížení zdvihu pootočením páky. Samotné umístění páky zdvihu může být pro dosažení konstrukční jednoduchosti umístěno přímo na hydraulickém válci potažmo vyvedeno k ostatním ovládacím prvkům.

#### **3.1.5 Pojezd**

Pojezd musí umožnit plynulý pohyb jeřábu s naloženým břemenem po podkladu v místě provozu a bezpečné zajištění proti samovolnému pohybu. Zároveň je třeba, aby umožňoval dostatečnou manévrovatelnost, alespoň základní absorpci vibrací a zamezoval vzniku nadbytečného hluku. Výše zmíněného se obvykle dosahuje pomocí čtveřice kol, jejichž obvod je pokryt vrstvou vysoko zátěžové pryže či polyuretanu. V závislosti na konstrukčním provedení je pak jeden pár kol obvykle otočných. Za účelem dosažení vyšší manévrovatelnosti mohou být otočné oba páry kol. Pojištění proti samovolnému pohybu se standardně řeší pomocí třecích brzd alespoň na jednom páru kol. Ovládání brzd bývá zpravidla nožní, ale výjimkou není ani ruční ovládání.

### 3.2 Průzkum stavu techniky

#### Dílenský jeřáb s podvozkem pro palety [1]



Obrázek 1 – Dílenský jeřáb s paletovým podvozkem

Tabulka 1 – Specifikace parametrů dílenského jeřábu s paletovým podvozkem

Skládací	Ne	
Nosnost	Minimální vysunutí	1000kg
	Maximální vysunutí	700kg
Poloh vysunutí	4	
Max. zdvih	222,5 cm	
Max. vysunutí	136 cm	
Hmotnost	103 kg	
Zdvih	Hydraulický válec	
Cena	12825 Kč	

## Dílenský jeřáb s nůžkovým podvozkem[2]



Obrázek 2 – Dílenský jeřáb s nůžkovým podvozkem

Tabulka 2 – Specifikace parametrů dílenského jeřábu s nůžkovým podvozkem

Skládací	Ano	
Nosnost	Minimální vysunutí	1000 kg
	Maximální vysunutí	750
Poloh vysunutí	3	
Max. zdvih	245 cm	
Max. vysunutí	146 cm	
Hmotnost	115 kg	
Zdvih	Hydraulický válec	
Cena	16700 Kč	

### Dílenský sloupový jeřáb s protizávažím [3]



Obrázek 3 – Sloupový dílenský jeřáb s protizávažím

Tabulka 3 – Specifikace parametrů dílenského sloupového jeřábu s protizávažím

Skládací	Ne	
Nosnost	Minimální vysunutí	Dle požadavku (hmotnost proti závaží)
	Maximální vysunutí	Dle požadavku (hmotnost proti závaží)
Poloh vysunutí	Plynule nastavitelné	
Max. zdvih	300 cm	
Max. vysunutí	285 cm	
Hmotnost	Dle hmotnosti proti závaží	
Zdvih	Elektrický naviják 400V AC	
Cena	Dle požadované nosnosti	



### 3.3 Specifikace požadavků na technický systém (TS)

Tabulka 4 - Specifikace požadavků na TS [4]

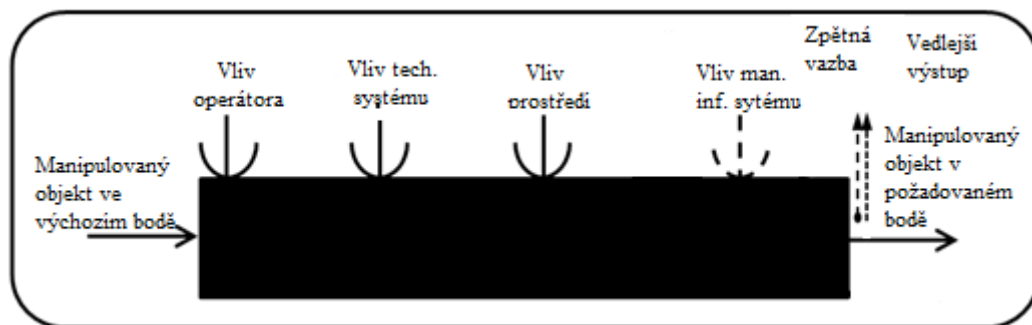
REFLEKTOVANÉ VLASTNOSTI TS Provozní etapa životního cyklu			
Třída - podtřída vlastností - vlastnost - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha	
<b>1. Požadavky k transformačním funkcím a účinkům:</b>		[0 – 4]	
<b>1.1 OPERÁTOR TS:</b>	<b>Dílenský jeřáb</b>	---	
• Vytvořit nakládací plochu:	---	<b>4</b>	
- max. rozměr nakládací plochy	1300x900 mm		
• max. zatížení podlahy	2100 kg/m <sup>2</sup>		
• Umožnit změnu výšky zdvihu:	500-1800mm		
• Umožnit změnu délky ramena:	---		
- změna délky v rozsahu	700-1500mm		
- min. počet stupňů změny délky	3		
• Umožnit pohyb po podlaze:	dílňny		
<b>1.2 OPERAND:</b>	<b>Manipulovaný objekt</b>		---
• parametry objektu	---		<b>3</b>
- max. hmotnost	1000 kg		
- max. rozměr	1300 x 900 x 1500 mm		
<b>1.3 PROCES:</b>	<b>Přeprava a manipulace</b>	---	
• Základní útlum rázů při pohybu	---		
- útlum rázů a vibrací	PU pojezdová kola		
• Znemožnit ztrátu pojistných kolíků	závlačky v kolíkách		
<b>2. Požadavky k provozu TS:</b>		(0-4)	
• Prostředí	bezprašná hala, betonová podlaha	<b>3</b>	
• Minimální životnost	10 let		
• Frekvence použití	střední		
• Údržba periodická	1 rok		
• Provozní náklady	minimální		
• Spolehlivost	vysoká		
REFLEKTOVANÉ VLASTNOSTI TS Vztažené na celek životního cyklu			
Třída - podtřída vlastností - vlastnost - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha	

<b>3. Požadavky vůči živým bytostem</b>		<b>(0-4)</b>
<b>3.0 Hodnotové vlastnosti</b>	---	---
- kulturnost skládání	vysoká	<b>2</b>
- kulturnost vykládání a nakládání objektů	vysoká	
<b>3.1 Bezpečnost, zdravotní nezávadnost, ergonomie, hygieničnost</b>	---	---
- povrchy ovládacích prvků	protiskluzové, ovladatelné v pracovních rukavicích	<b>4</b>
- ochrana proti samovolnému uvolnění břemene	vysoká	
- nastavení výšky zdvihu	jednoduché	
- čistitelnost, omyvatelnost	vysoká	
- stabilita	vysoká	
- umístění ovládacích prvků	pro zajištění bezpečnosti	
- ochrana těsnících prvků pístnice	požadováno	
- zajištění polohy při stálém zatížení	mechanické	
-zdravotní nezávadnost	splněna	
<b>3.2 Příjemnost pro člověka</b>	---	
- tvarový design	bez požadavku	<b>3</b>
- barevný design	dle firemního standardu	
- hlučnost	minimální	
-značení	dle firemního standardu	
<b>4. Požadavky k dostupným a vyvolaným vlastnostem TS:</b>		<b>(0-4)</b>
<b>4.1 Požadavky na předvýrobní procesy a výrobu</b>	---	---
• Vhodnost pro konstruování, technologičnost a organizační příprava výroby	vysoká	<b>1</b>
• Náročnost na vyrobení a montáž	zámečnická dílna	
• Druh výroby	kusová	
<b>4.2 Požadavky na distribuci</b>	---	---
• Skladovací prostor	minimální	<b>3</b>
• Manipulace při dopravě a instalaci	ruční paletový vozík	
<b>4.3 Požadavky na likvidaci</b>	---	---
• Rozložitelnost	zámečnická dílna	<b>4</b>
• Recyklovatelnost	vysoká	
<b>5. Požadavky k aktivnímu a reaktivnímu prostředí:</b>		<b>(0-4)</b>
<b>5.1 Vstupní materiály a energie</b>	---	---
• Ekologičnost použitých materiálů a procesů	standardní	<b>3</b>
• Potřeba materiálů a energií	standardní	
<b>5.2 Výstupní materiály a energie</b>	---	---

• Ekologičnost výstupních materiálů a energií	nevztahuje se	<b>3</b>
• Množství odpadových materiálů a energií	minimální	
<b>6. Požadavky k odborným informacím:</b>		(0-4)
• Patentová a licenční práva	dodržení	<b>2</b>
• Výrobní a montážní dokumentace	standardní	
• Návodů k obsluze, údržbě a opravám	požadováno	
<b>7. Pož. k manažerským informacím – k produktu, termínům, nákladům a legislativě:</b>		(0-4)
• Náklady	bez porušení,	<b>3</b>
- cena konkurenčních produktů	cca 15 000 Kč	
- prodejní cena	cca 18 000 Kč	
- cena na vývoj prototypu	cca 80 000 Kč	
• Čas na vývoj a dodání	3 měsíce	
<b>Specifikace požadavků na DESKRIPTIVNÍ vlastnosti TS - NEZÁVISLE na etapách životního cyklu TS</b>		
<b>Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti</b>	<b>Hodnota indikátoru</b>	<b>Váha</b>
<b>8. Pož. na behaviorální (obecné) konstrukční vlastnosti:</b>		(0-4)
• Odolnost povrchů proti poškození	vysoká	<b>3</b>
• Odolnost proti provozním kapalinám spalovacích motorů	vysoká	
• Odolnost ovládacích prvků	vysoká	
<b>9. Požadavky na elementární konstrukční vlastnosti:</b>		(0-4)
• Hydraulický válec	nakupovaný	<b>2</b>
• Spojovací prvky	normalizované	
<b>10. Požadavky na konstrukční charakteristiky:</b>		(0-4)
• Funkční princip:	manuálně hydraulický, mechanický	<b>3</b>
• Typ ovládání pohonu	ruční ovládání hydraulického zdvihu	

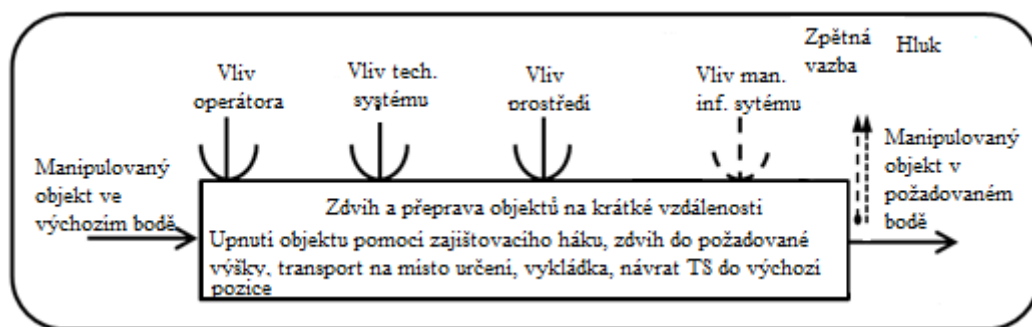
## 4 Koncepční návrh TS

### 4.1 Návrh černé skříňky provozního transformačního procesu



Obrázek 4 - Návrh černé skříňky

### 4.2 Návrh technologie provozního transformačního procesu



Obrázek 5 - Návrh technologie provozního transformačního procesu

### 4.3 Navržené koncepční varianty

**Dílenský jeřáb má s ohledem na provozní transformační proces splňovat tyto funkce:**

- (1) Variabilní nakládací plochu vytvořit
- (2) Bezpečné upnutí břemene vytvořit
- (3) Zdvih břemene umožnit
- (4) Polohu břemene v prostoru zajistit
- (5) Transport břemene umožnit
- (6) Ovládání řízeného podvozku umožnit
- (7) Zajištění TS proti samovolnému pohybu umožnit
- (8) Snazší manipulaci s břemenem zajistit

### **Poznámky:**

Nositeli funkcí jsou orgány. Varianty řešení konkrétních funkcí:

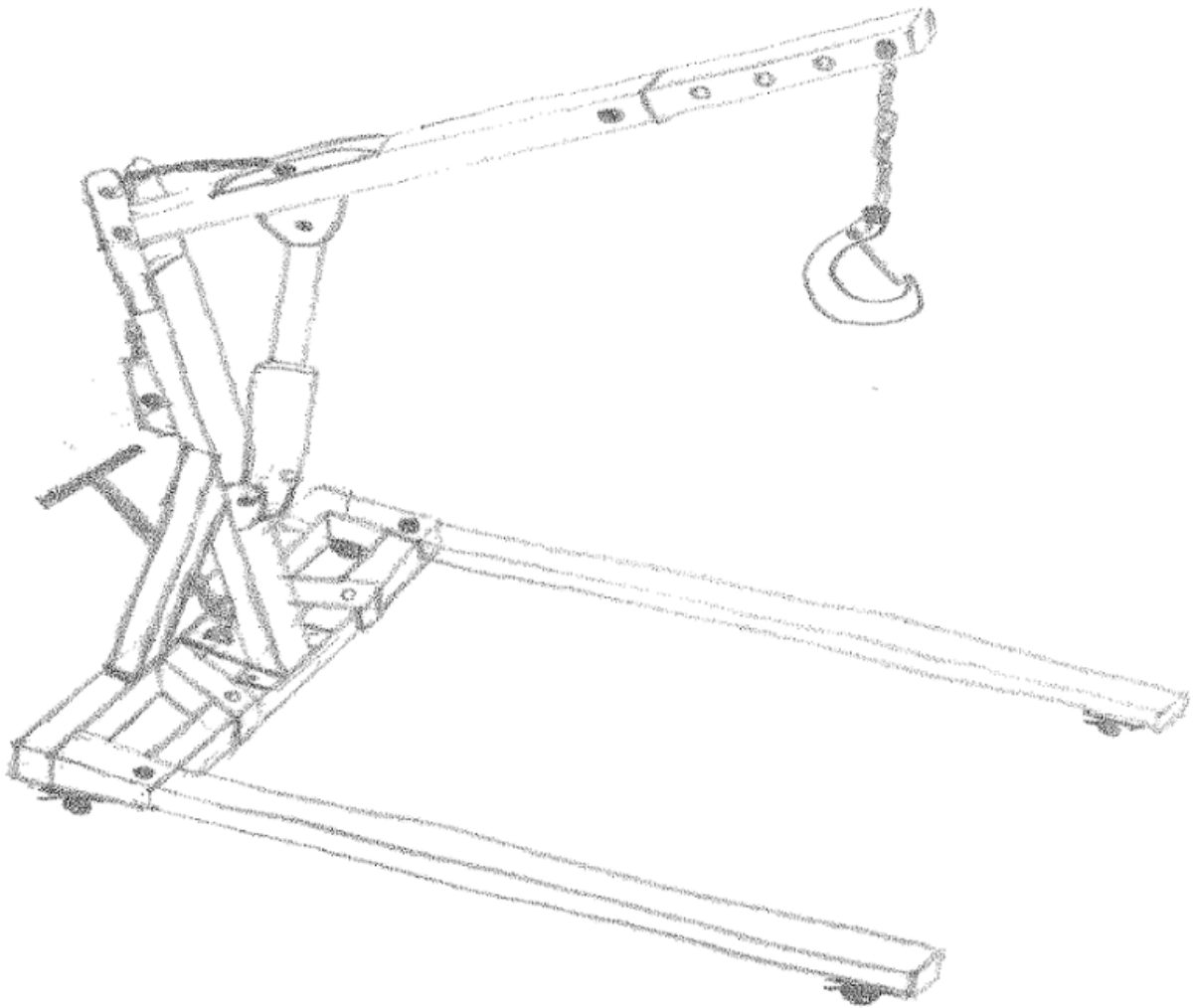
- (1) splněno orgánem na principu vhodného či variabilního uspořádání ložné části konstrukce TS
- (2) splněno orgánem na principu háku, karabiny, háku s pojistkou, upínacího oka, vázacího řetězu
- (3) splněno orgánem na principu hydraulického válce s manuálním ovládním
- (4) splněno orgánem na principu mechanického zajištění polohy ramene zarážkami, kolíkem, rohatkou a západkou, pojistným řetězem
- (5) splněno orgánem na principu otočného podvozku TS
- (6) splněno orgánem na principu manipulačních řídítek
- (7) splněno orgánem na principu třecí brzdy otočného podvozku TS
- (8) splněno ergonomicky vhodnou kombinací orgánu 1-7

Výčet funkcí a jejich nositelů slouží jako základ k sestavení orgánové struktury

#### **4.3.1 Varianta A**

- (1) funkce na principu variabilního umístění noh jeřábu
- (2) funkce na principu háku s pojistkou
- (3) funkce na principu hydraulického válce
- (4) funkce na principu kotvícího řetězu
- (5) funkce na principu otočného podvozku
- (6) funkce na principu dvojramenné páky
- (7) funkce na principu nožní třecí brzdy kol podvozku

Volba konkrétního konstrukčního provedení bude provedena ve fázi konstrukčního návrhu varianty.

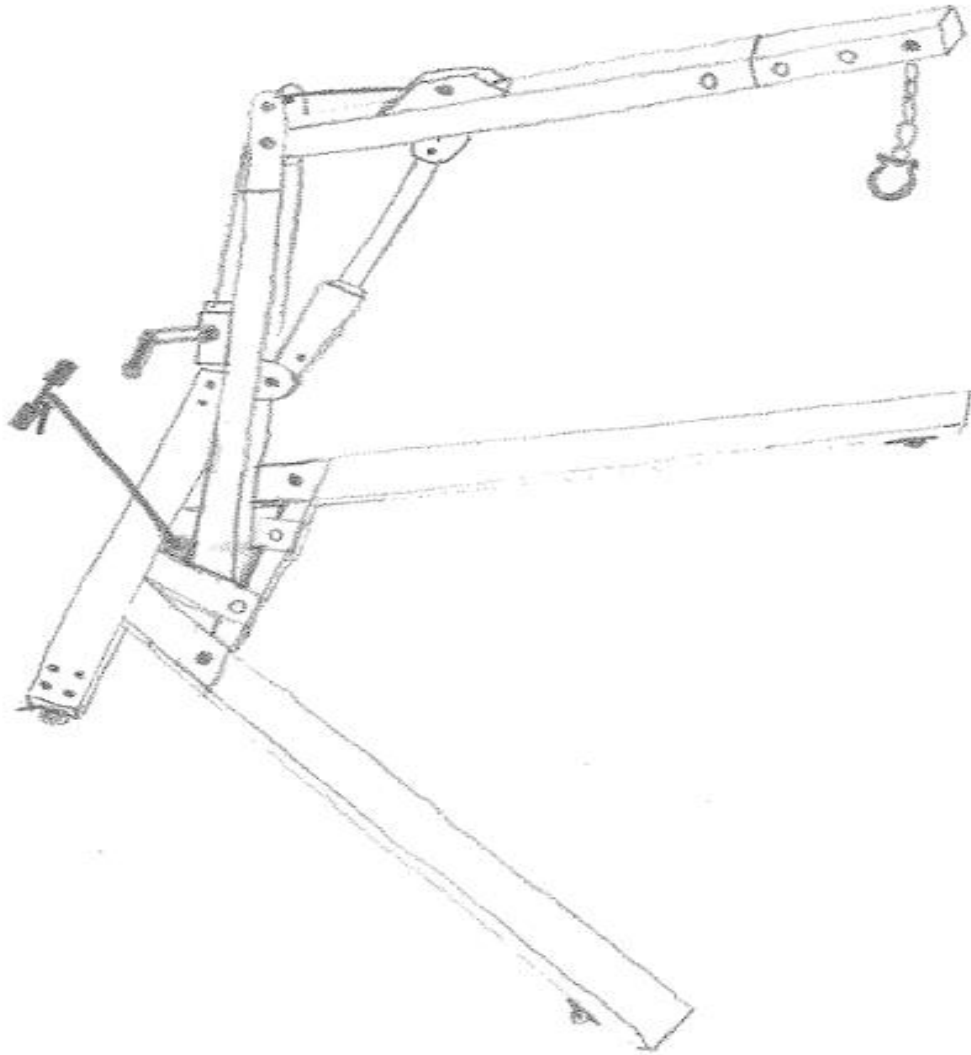


*Obrázek 6 – Konstrukční návrh koncepční varianty A*

#### **4.3.2 Varianta B**

- (1) funkce na principu změny úhlu sevření noh jeřábu
- (2) funkce na principu vázacího oka
- (3) funkce na principu hydraulického válce
- (4) funkce na principu rohatky a západky
- (5) funkce na principu částečně otočného podvozku
- (6) funkce na principu dvojramenné páky
- (7) funkce na principu ruční třecí brzdy kol podvozku

Volba konkrétního konstrukčního provedení bude provedena ve fázi konstrukčního návrhu varianty.

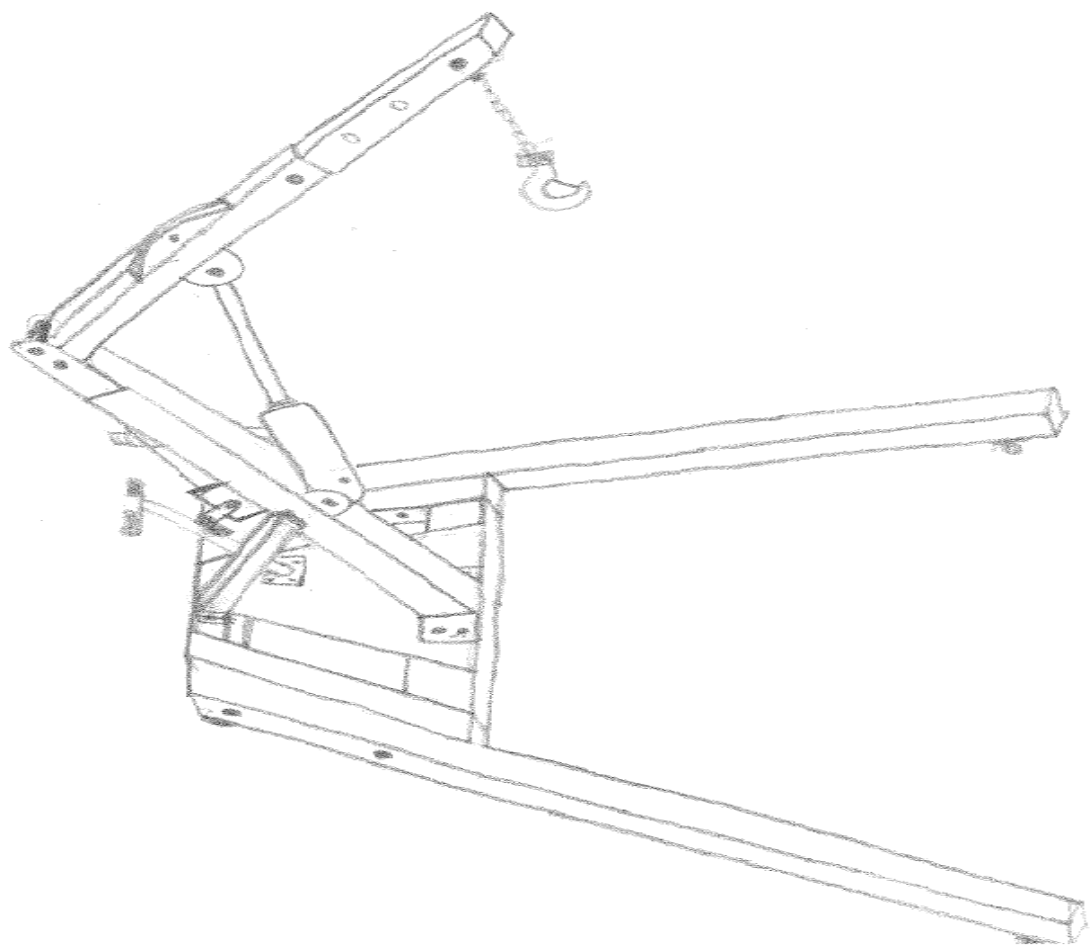


Obrázek 7 – Konstrukční návrh koncepční varianty B

#### 4.3.3 Varianta C

- (1) funkce na principu vhodně zvoleného úhlu sevření noh jeřábu
- (2) funkce na principu vázacího háku se západkou
- (3) funkce na principu hydraulického válce
- (4) funkce na principu rohatky a západky
- (5) funkce na principu otočného podvozku
- (6) funkce na principu dvojramenné páky
- (7) funkce na principu nožní třecí brzdy všech kol podvozku

Volba konkrétního konstrukčního provedení bude provedena ve fázi konstrukčního návrhu varianty.



Obrázek 8 – Konstrukční návrh koncepční varianty C

#### 4.4 Hodnocení koncepčních variant

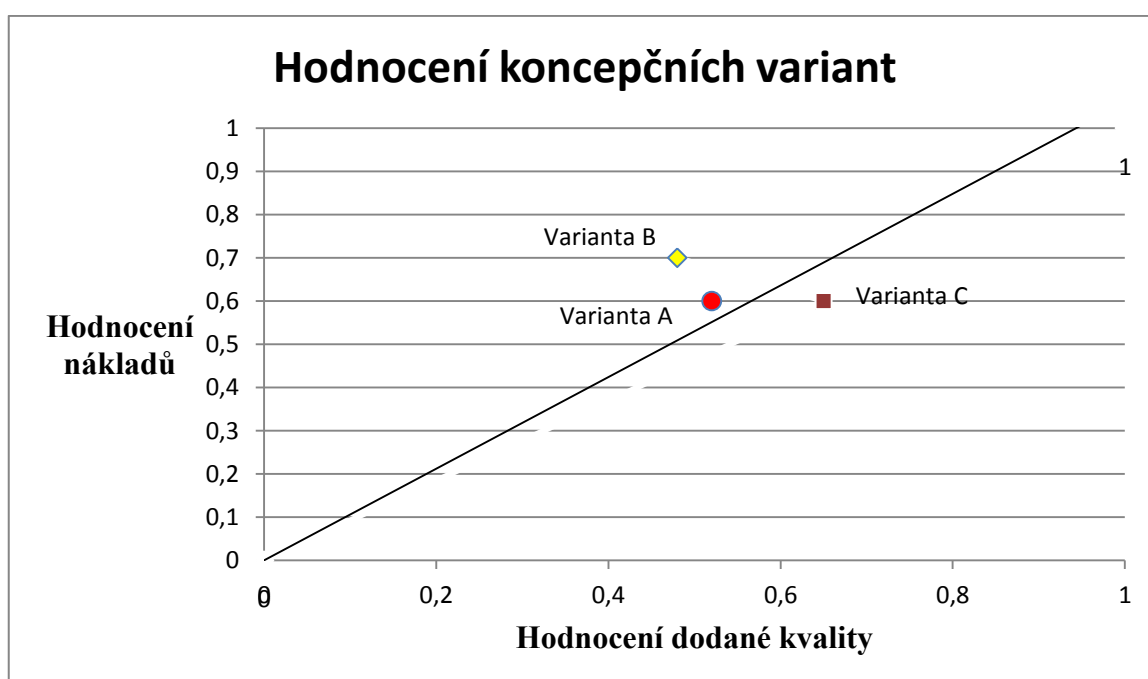
Hodnocení (hodnocení koncepčních variant a hodnocení v rámci SWOT) bylo prováděno na základě subjektivního vnímání shody s požadavky. Případné objektivní hodnocení by zasahovalo do vědních disciplín (ergonomie, normy BOZP, aj.) nad rámec zadání této práce.

Tabulka 5 – Hodnocení koncepčních variant

	Varianta	A	B	C	Ideál
<b>Kvalita</b>	Nakládací plocha	3	2	4	5
	Bezpečné a snadné upnutí	3	2	3	5
	Zdvih	4	4	4	5
	Zajištění polohy	1	2	2	5
	Přeprava	3	2	2	5
	Řízení	2	3	4	5
	Brzdění	3	2	4	5



	Snazší manipulace	2	2	3	5
	<b>celkový součet</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>40</b>
	<b>normované hodnocení</b>	<b>0,52</b>	<b>0,48</b>	<b>0,65</b>	<b>1</b>
<b>Náklady</b>	výrobní náklady	3	4	3	5
	náklady na nákup	3	3	3	5
	<b>celkový součet</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
	<b>normované hodnocení</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>1</b>



Obrázek 9 - Hodnocení koncepčních variant

Z Obrázek 9 a Tabulka 5 plyne, že (sub)optimální variantou je varianta C. Varianta C při zachování nízkých nákladů disponuje nejvyšší dodanou kvalitou ze všech hodnocených koncepčních řešení.

V případě hodnocení koncepčních variant je nutno brát v úvahu fakt, že se jedná o sub-optimální řešení a to hned z několika důvodů:

- 1) Tvorba koncepčních variant byla řešena metodou funkce-orgán, čistě s ohledem na požadovanou funkci a její splnění daným orgánem
- 2) Při vytváření koncepčních návrhů konstrukčních provedení, nebyla blíže analyzována vzájemná provázanost a působení jednotlivých prvků (orgánů) daného TS
- 3) Nebyla detailně analyzována funkčnost TS jako celku
- 4) Nebyla detailně analyzována shoda s požadavky, pouze zda dané provedení/ orgán má potenciál vyhovět

- 5) Nebyla ověřována chybu-vzdornost jednotlivých orgánů, potažmo celého TS, z hlediska uživatele (zejména eliminace rizik plynoucích z užití v rozporu s uživatelskou příručkou)

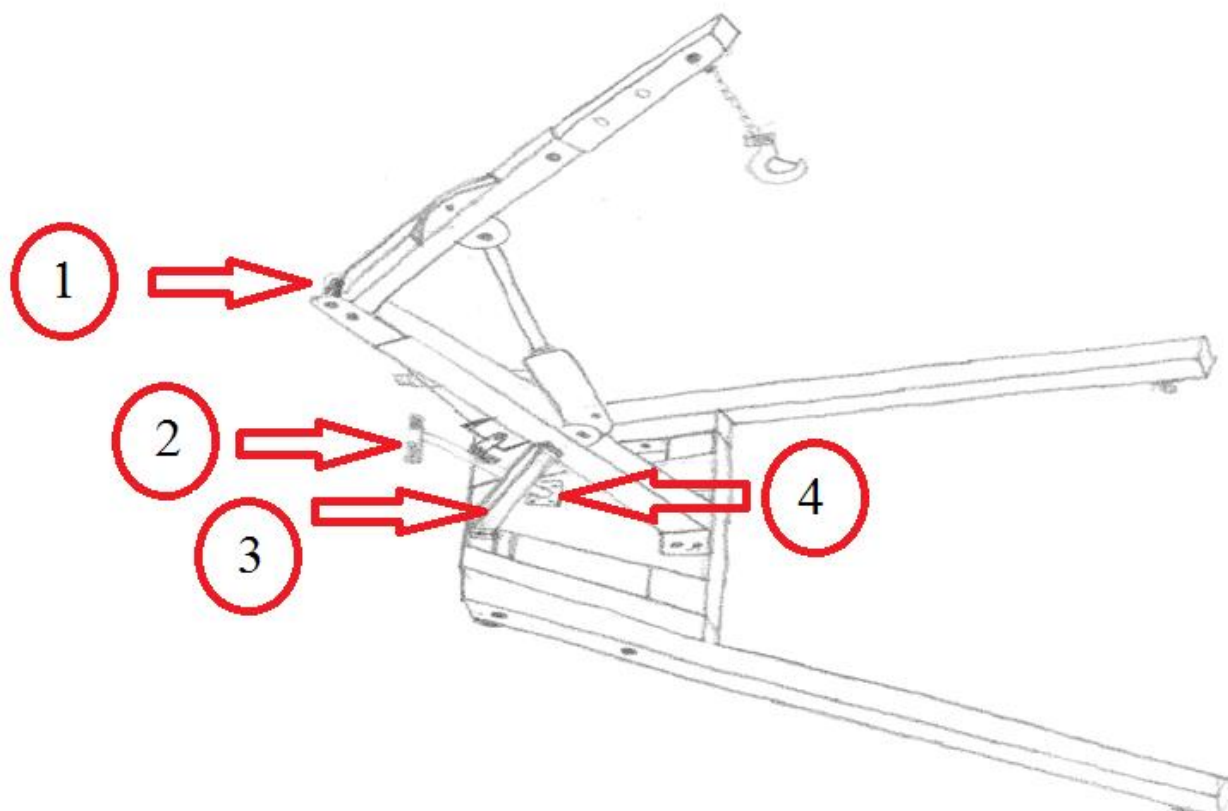
Po zvolení sub-optimálního konstrukčního řešení je tedy nutné postoupit k bližšímu rozboru zvolené koncepční varianty za účelem analyzování silných a slabých stránek, možností a rizik a následné zlepšení odhalených problematických prvků.

## 4.5 Zlepšení předběžného návrhu

Zlepšení je třeba realizovat v těch oblastech, kde je to nejžádanější. To znamená, kde je shoda s požadavky nejnižší a zároveň váha požadované shody nejvyšší. Při hledání variant, jak zlepšit shodu s požadavky je nutno vzít v potaz náročnost na čas a zdroje. Tím nenastane situace, kdy sice dojde ke zlepšení původního problematického faktoru, ale dojde k výraznému zhoršení shody u ostatních požadavků (např. náklady a doba vývoje).

### 4.5.1 Analýza zvolené koncepční varianty

Na základě Tabulka 5 a diagramu Obrázek 9 byla vybrána varianta C jako optimální výchozí koncepce. Při bližší analýze koncepční varianty bylo nalezeno několik potenciálně rizikových oblastí. Na tyto oblasti bylo nutné se zaměřit a upravit je tak, aby bylo riziko minimalizováno či zcela odstraněno.



Obrázek 10 – Koncepční varianta C s vyznačenými rizikovými oblastmi

Analýza rizikových oblastí:

- 1) Problematická kinematika – Při malé vzdálenosti osy vodící kladky pojistného lana od osy uchycení podélného ramene hrozí pokles ramene i při zachování konstantní délky lana. Zároveň neefektivní přenos síly vedoucí k nutnosti nadměrného rozměru lana.

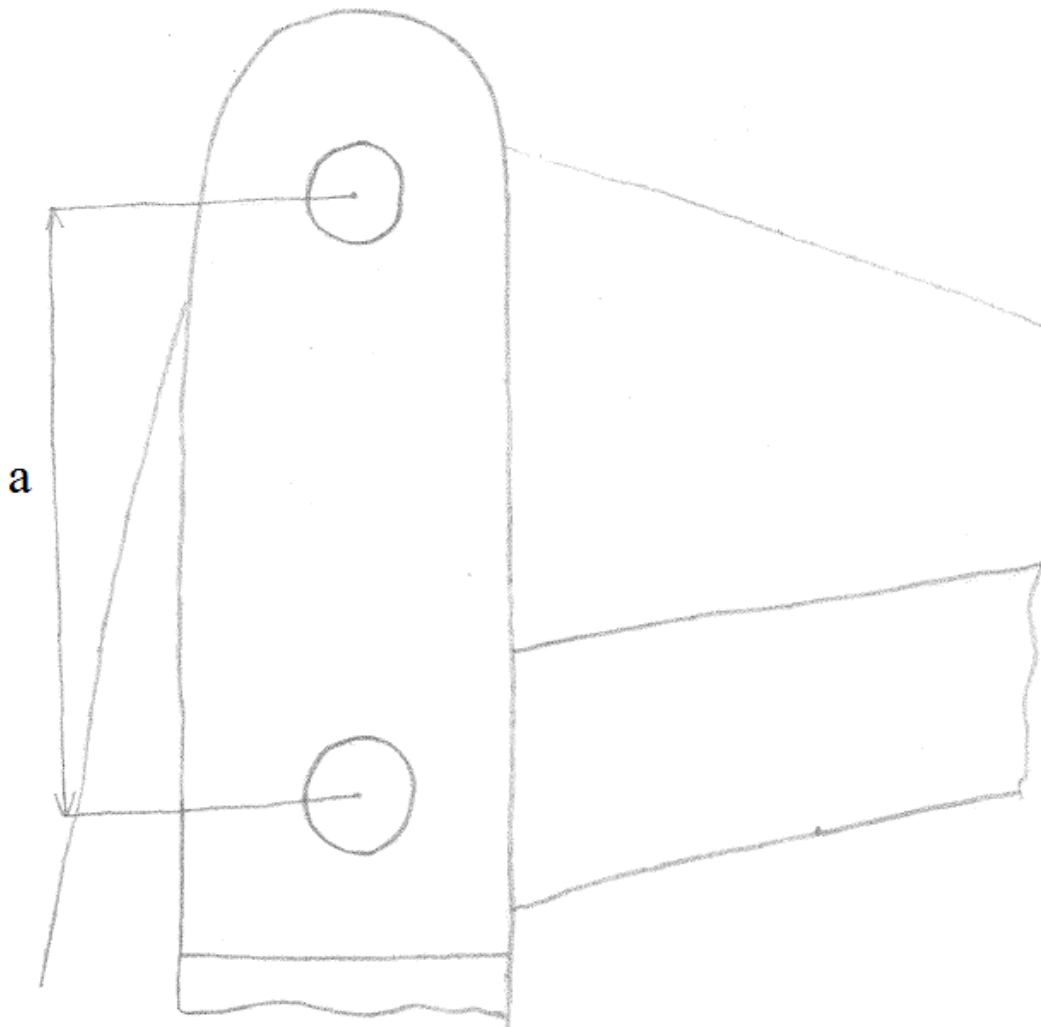
- 2) Problematická tuhost a síla potřebná k řízení – Vzhledem k poměrně vysoké hmotnosti jeřábu s naloženým břemenem a omezení maximálního možného průřezu madla daného ergonomií hrozí, že bude docházet k nadměrným deformacím a/nebo k nutnosti vynaložit nadměrnou sílu k ovládní pohybu jeřábu.
- 3) Potenciálně problematické uchycení vzpěr z hlediska namáhání a potřebného prostoru.
- 4) Problematická tuhost uchycení – Vzhledem k předpokládanému konstrukčnímu provedení sestavy madla hrozí nadměrné deformace v oblasti jeho uchycení k rámu jeřábu.

#### 4.5.2 Zlepšení předběžného návrhu

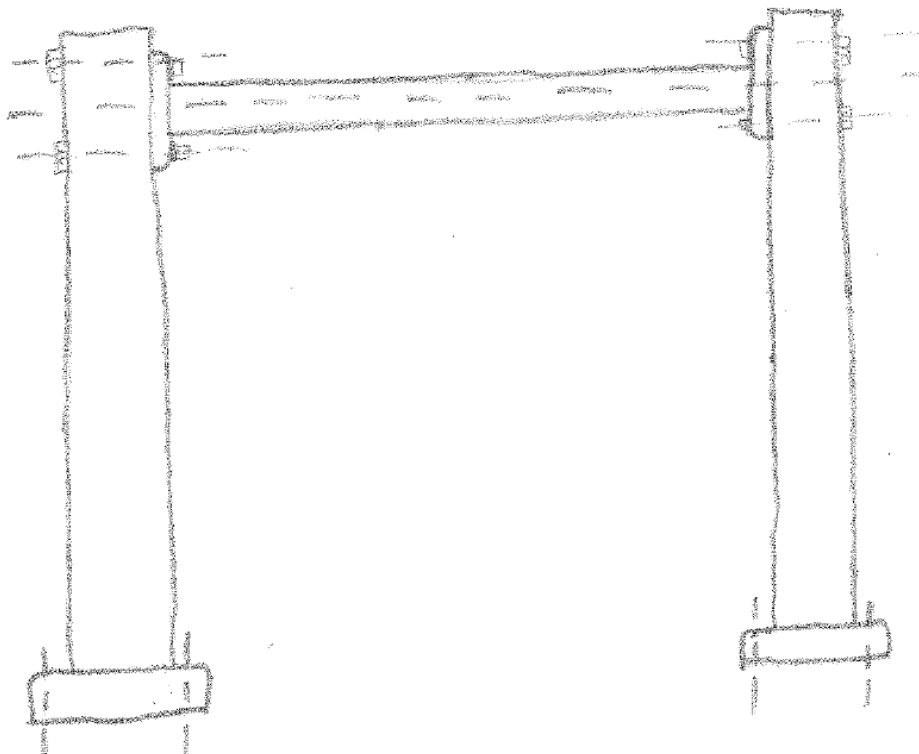
Odstranění rizikových oblastí:

- 1) Zajištění dostatečné vzdálenosti os vodící kladky a uchycení podélného ramene. Specifikace maximální možné výšky zdvihu při zachování funkce pojistného lana.
- 2) a 4) Komplexní změna konstrukce madla a jeho uchycení k rámu jeřábu.
- 3) Nahrazení jednotlivých vzpěr vzpěrou centrální.

Úprava konstrukčních rozměrů a provedení tak, aby bylo dosaženo co nejvyššího užitého normalizovaných spojovacích a pojistných prvků.



Obrázek 11 – Skica detailu kritické osové vzdálenosti v rizikové oblasti 1)



Obrázek 12 – Skica konstrukčního návrhu nového provedení madla

#### 4.6 SWOT analýza a hodnocení vhodnosti alternativ

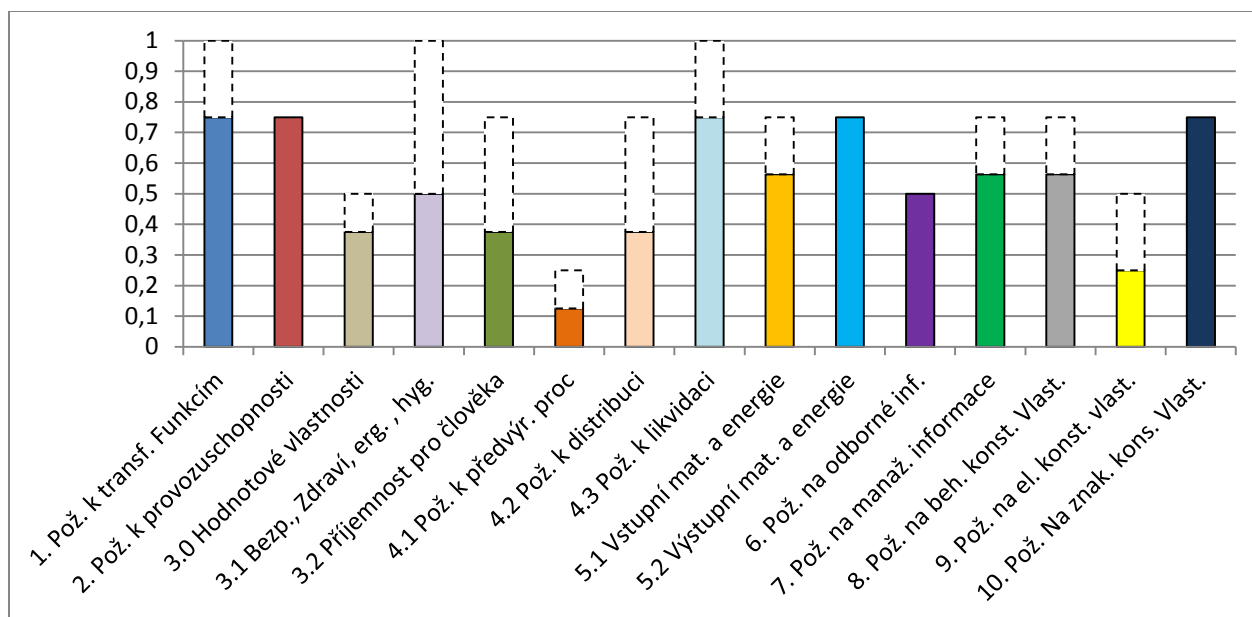
Tabulka 6 – Specifikace požadavků na TS s analýzou SWOT [4]

REFLEKTOVANÉ VLASTNOSTI TS Provozní etapa životního cyklu			SWOT pro výchozí stav		SWOT pro zlepšený stav		
Třída - podtřída vlastností - vlastnost - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha	Hodnocení	Váž. hodnocení	Hodnocení	Váž. hodnocení	
<b>1. Požadavky k transformačním funkcím a účinkům:</b>			(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
<b>1.1 OPERÁTOR TS:</b>	<b>Dílenský jeřáb</b>	---	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>0,750</b>	<b>3</b>	<b>0,750</b>
• Vytvořit nakládací plochu:		---					
- max. rozměr nakládací plochy		1300x900 mm					
• max. zatížení podlahy		2100 kg/m <sup>2</sup>					
• Umožnit změnu výšky zdvihu:		500-1800mm					
• Umožnit změnu délky ramena:		---					

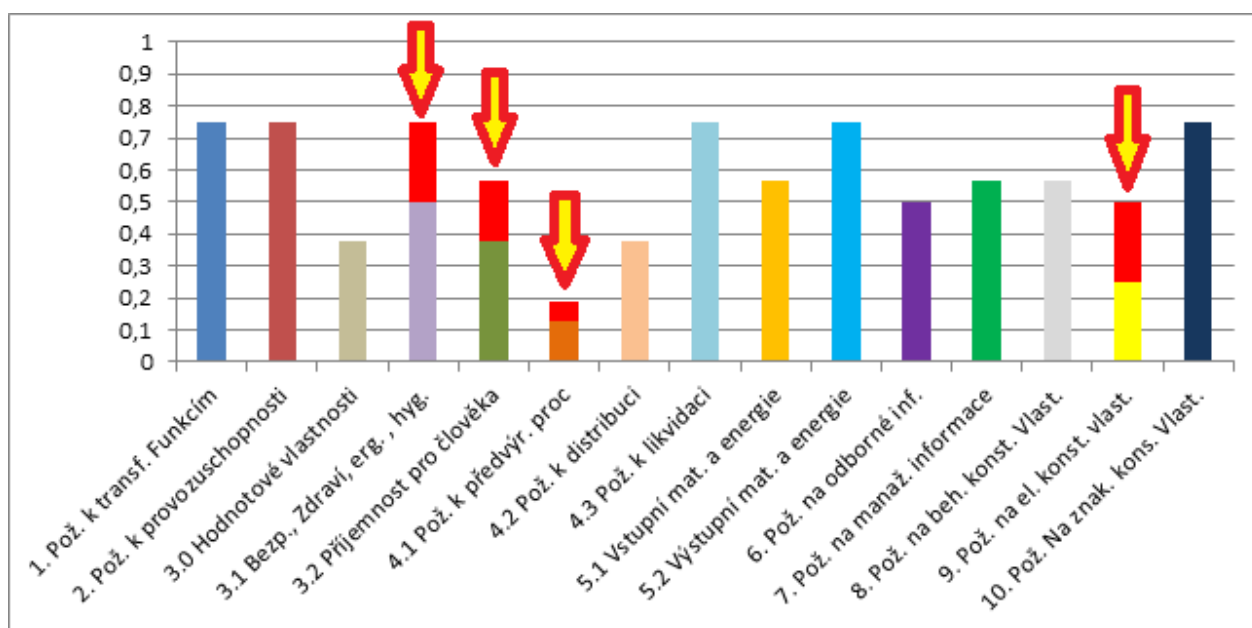
-změna délky v rozsahu	700-1500mm					
-min. počet stupňů změny délky	3					
• Umožnit pohyb po podlaze:	Dílny					
<b>1.2 OPERAND:</b>	<b>Manipulovaný objekt</b>	---				
• parametry objektu	---					
- max. hmotnost	1000 kg					
- max. rozměr	1300 x 900 x 1500 mm					
<b>1.3 PROCES:</b>	<b>Přeprava a manipulace</b>	---				
• Základní útlum rázů při pohybu	---					
- útlum rázů a vibrací	PU pojezdová kola					
• Znemožnit ztrátu pojistných kolíků	závlačky v kolíkách					
<b>2. Požadavky k provozu TS:</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
• Prostředí	bez prašná hala, betonová podlaha	<b>3</b>	4	<b>0,750</b>	4	<b>0,750</b>
• Minimální životnost	10 let					
• Frekvence použití	střední					
• Údržba periodická	1 rok					
• Provozní náklady	minimální					
• Spolehlivost	vysoká					
<b>REFLEKTOVANÉ VLASTNOSTI TS</b> Vztažené na celek životního cyklu			<b>SWOT pro výchozí stav</b>		<b>SWOT pro zlepšený stav</b>	
<b>Třída - podtřída vlastností - vlastnost - indikátor vlastnosti</b>	<b>Hodnota indikátoru</b>	<b>Váha</b>	<b>Hodnocení</b>	<b>Váž. hodnocení</b>	<b>Hodnocení</b>	<b>Váž. hodnocení</b>
<b>3. Požadavky vůči živým bytostem</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
<b>3.0 Hodnotové vlastnosti</b>	---	---	---	---	---	---
- kulturnost skládání	vysoká	<b>2</b>	3	<b>0,375</b>	3	<b>0,375</b>
- kulturnost vykládání a nakládání objektů	vysoká					
<b>3.1 Bezpečnost, zdravotní nezávadnost, ergonomie, hygieničnost</b>	---	---	---	---	---	---
- povrchy ovládacích prvků	protiskluzové ovladatelné v pracovních	<b>4</b>	2	<b>0,500</b>	3	<b>0,750</b>

	<i>rukavicích</i>					
- ochrana proti samovolnému uvolnění břemene	Vysoká					
- nastavení výšky zdvihu	Jednoduché					
- čistitelnost, omyvatelnost	Vysoká					
- stabilita	Vysoká					
- umístění ovládacích prvků	pro zajištění bezpečnosti					
- ochrana těsnících prvků pístnice	Požadováno					
- zajištění polohy při stálém zatížení	Mechanické					
-zdravotní nezávadnost	splněna	---	---	---	---	---
<b>3.2 Příjemnost pro člověka</b>	---					
- tvarový design	bez požadavku	<b>3</b>	2	<b>0,375</b>	3	<b>0,563</b>
- barevný design	dle firemního standardu					
- hlučnost	minimální					
<b>4. Požadavky k dostupným a vyvolaným vlastnostem TS:</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
<b>4.1 Požadavky na předvýrobní procesy a výrobu</b>	---	---	---	---	---	---
• Vhodnost pro konstruování, technologičnost a organizační příprava výroby	vysoká	<b>1</b>	2	<b>0,125</b>	3	<b>0,188</b>
• Náročnost na vyrobení a montáž	zámečnická dílna					
• Druh výroby	kusová					
<b>4.2 Požadavky na distribuci</b>	---	---	---	---	---	---
• Skladovací prostor	minimální	<b>3</b>	2	<b>0,375</b>	2	<b>0,375</b>
• Manipulace při dopravě a instalaci	ruční paletový vozík					
<b>4.3 Požadavky na likvidaci</b>	---	---	---	---	---	---
• Rozložitelnost	zámečnická dílna	<b>4</b>	3	<b>0,750</b>	3	<b>0,750</b>
• Recyklovatelnost	vysoká					
<b>5. Požadavky k aktivnímu a reaktivnímu prostředí:</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
<b>5.1 Vstupní materiály a energie</b>	---	---	---	---	---	---
• Ekologičnost použitých materiálů a procesů	standardní	<b>3</b>	3	<b>0,563</b>	3	<b>0,563</b>
• Potřeba materiálů a energií	standardní					
<b>5.2 Výstupní materiály a energie</b>	---	---	---	---	---	---

• Ekologičnost výstupních materiálů a energií	nevztahuje se	<b>3</b>	4	<b>0,750</b>	4	<b>0,750</b>
• Množství odpadových materiálů a energií	minimální					
<b>6. Požadavky k odborným informacím:</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
• Patentová a licenční práva	dodržení	<b>2</b>	4	<b>0,500</b>	4	<b>0,500</b>
• Výrobní a montážní dokumentace	standardní					
• Návodů k obsluze, údržbě a opravám	požadováno					
<b>7. Pož. k manažerským informacím – k produktu, termínům, nákladům a legislativě:</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
• Náklady	bez porušení,	<b>3</b>	3	<b>0,563</b>	3	<b>0,563</b>
-průměrná cena konkurenčních produktů	15 000 Kč					
- přibližná prodejní cena	18 000 Kč					
- cena na vývoj prototypu	80 000 Kč					
• Čas na vývoj a dodání	3 měsíce					
<b>Specifikace požadavků na DESKRIPTIVNÍ vlastnosti TS - NEZÁVISLE na etapách životního cyklu TS</b>			SWOT pro výchozí stav		SWOT pro zlepšený stav	
<b>Třída/podtřída vlastností /</b> • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	<b>Hodnota indikátoru</b>	<b>Váha</b>	<b>Hodnocení</b>	<b>Váž. hodnocení</b>	<b>Hodnocení</b>	<b>Váž. hodnocení</b>
<b>8. Pož. na behaviorální (obecné) konstrukční vlastnosti:</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
• Odolnost povrchů proti poškození	vysoká	<b>3</b>	3	<b>0,563</b>	3	<b>0,563</b>
• Odolnost proti provozním kapalinám spalovacích motorů	vysoká					
• Odolnost ovládacích prvků	vysoká					
<b>9. Požadavky na elementární konstrukční vlastnosti:</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
• Hydraulický válec	nakupovaný	<b>2</b>	2	<b>0,250</b>	4	<b>0,500</b>
• Spojovací prvky	normalizované					
<b>10. Požadavky na konstrukční charakteristiky:</b>		(0-4)	(0-4)	(0-1)	(0-4)	(0-1)
• Funkční princip:	manuálně hydraulický, mechanický	<b>3</b>	4	<b>0,750</b>	4	<b>0,750</b>
• Typ ovládání pohonu	Ruční ovládání hydraulického zdvihu					



Obrázek 13 – Diagram váženého hodnocení naplnění požadavků výchozího stavu



Obrázek 14 - Diagram váženého hodnocení naplnění požadavků pro zlepšenou variantu

Zlepšení shody s požadavky je v jednotlivých oblastech na Obrázek 14 reprezentováno červenými přírůstky původních sloupců, které jsou pro názornost zvýrazněny šipkami.

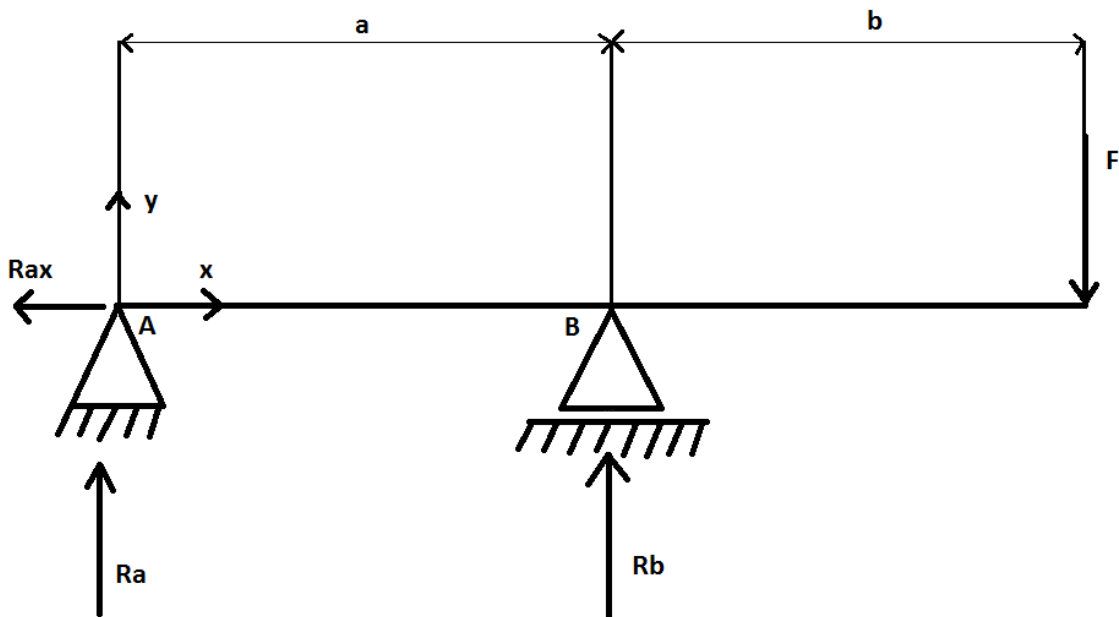


## 5 Konstrukce zařízení

### 5.1 Základní výpočet

Základní výpočet byl proveden za účelem stanovení základních silových účinků působících v oblasti podélného ramene, ke stanovení minimální plochy průřezu, k volbě hydraulického válce, a aby sloužil jako ověření výpočtů pomocí MKP.

#### 5.1.1 Stanovení reakcí v uložení



Obrázek 15 - Zjednodušený výpočtový model podélného ramene

**Dáno:**

$a = 420 \text{ mm}$

$b = 719 \text{ mm}$

$F = 10000 \text{ N}$

**Podmínky rovnováhy:**

$$1) \sum F_{ix} = 0 \Rightarrow R_{ax} = 0$$

$$2) \sum F_{iy} = 0 \Rightarrow R_a + R_b - F = 0$$

$$3) \sum M_{iA} = 0 \Rightarrow F * (a + b) - R_b * a = 0$$

**Vyjádření reakcí:**

$$Z\ 3) R_b = \frac{F * (a + b)}{a} = \frac{10000 * (0,42 + 0,719)}{0,42} = 27119\ N$$
$$Z\ 2),3) R_a = F - R_b = F - \frac{F * (a + b)}{a} = 10000 - \frac{10000 * (0,42 + 0,719)}{0,42}$$
$$= -17119\ N$$

Reakce v uložení B má hodnotu 27119 N.

Reakce v uložení A má hodnotu -17119N.

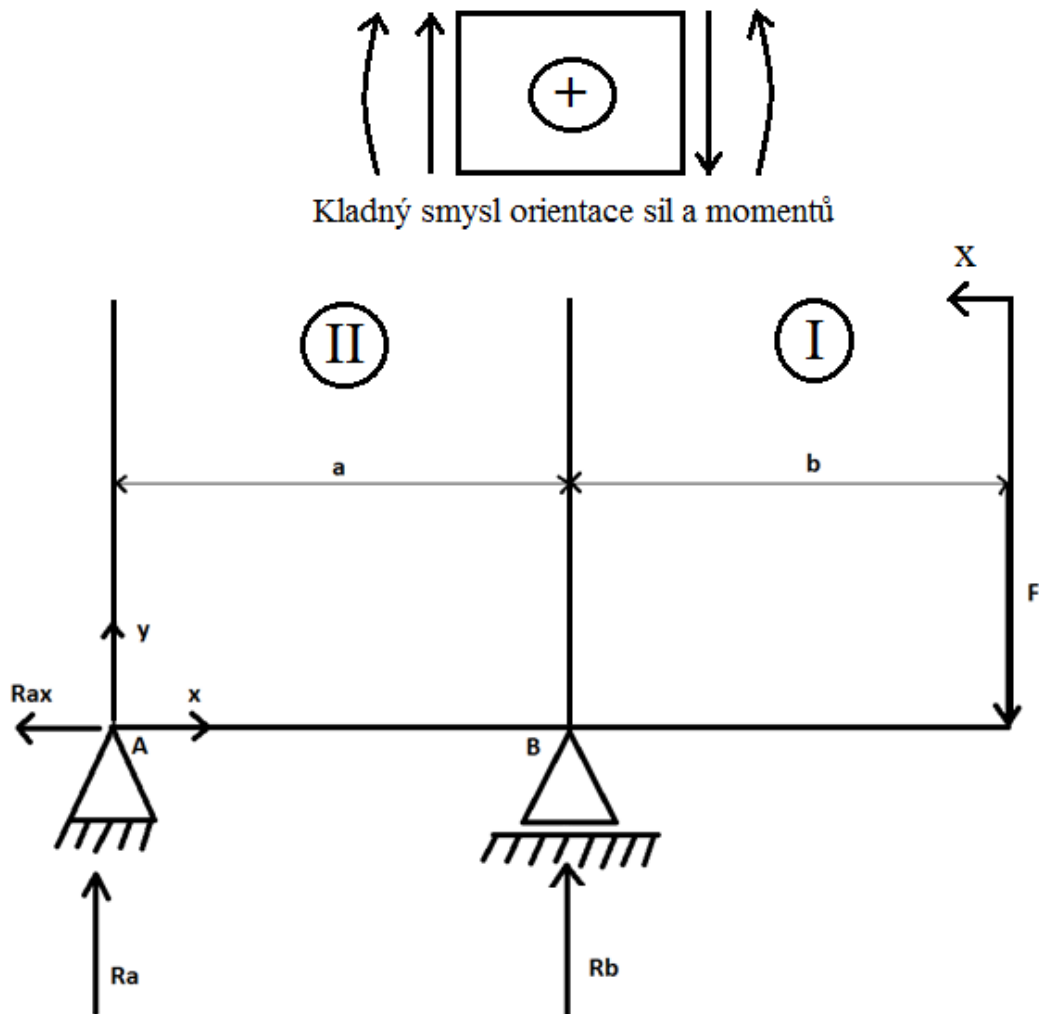
Záporná hodnota značí, že reakce působí v opačném směru, než je znázorněno na Obrázek 15.

**5.1.2 Volba materiálu**

Parametry konstrukčního materiálu jeřábu byly zvoleny následovně:

- Poissonovo číslo  $\mu = 0,3$
- Mez kluzu  $R_e = 310\ MPa$
- Mez pevnosti v tahu  $R_m = 500\ MPa$
- Youngův modul pružnosti v tahu  $E = 210\ GPa$

### 5.1.3 Stanovení orientačního průřezu



Obrázek 16 - Zjednodušený model pro výpočet modulu průřezu v ohybu

I)  $x \in \langle 0 ; b \rangle$

$$T_I(x) = F$$

$$T_I(0) = 10000 \text{ N}$$

$$T_I(b) = 10000 \text{ N}$$

$$M_I(x) = -F * X$$

$$M_I(0) = -10000 * 0 = 0 \text{ Nm}$$

$$M_I(b) = -10000 * 0,719 = -7190 \text{ Nm}$$

II)  $x \in \langle b ; a + b \rangle$

$$T_{II}(x) = F - R_b$$

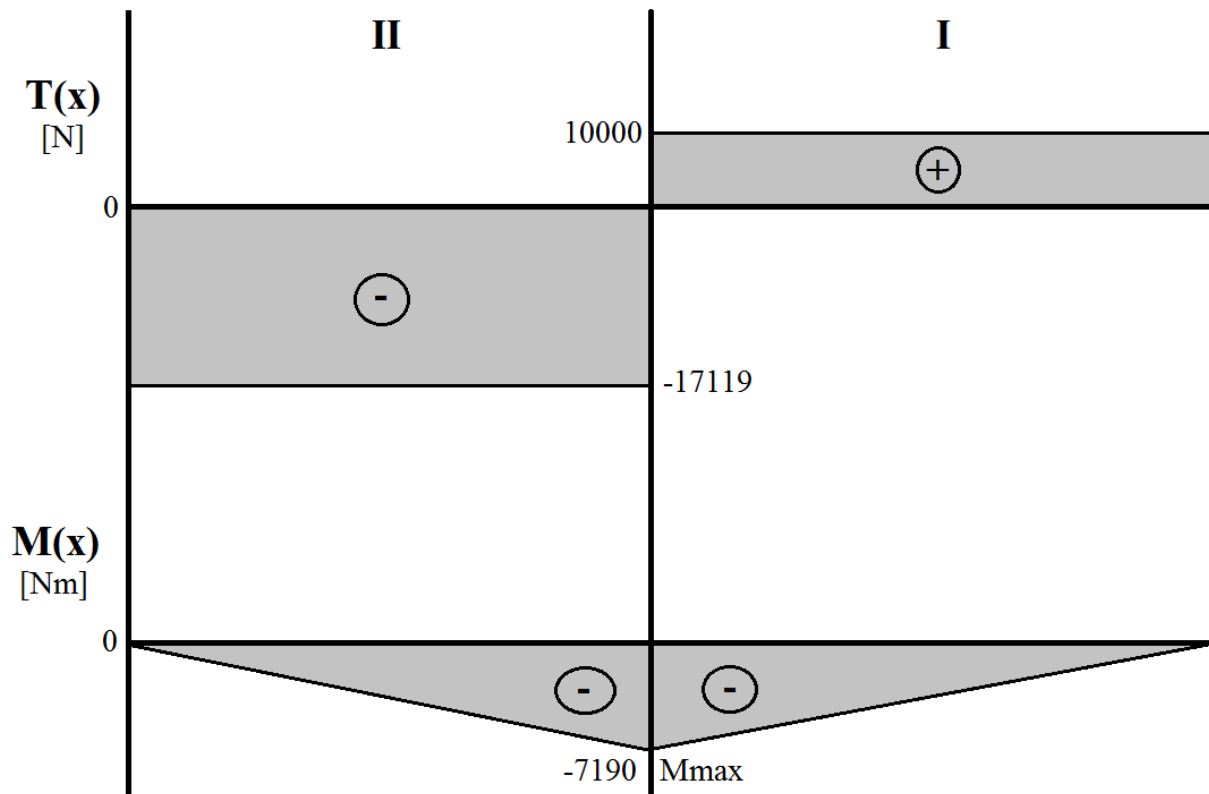
$$T_{II}(b) = 10000 - 27119 = -17119 \text{ N}$$

$$T_{II}(a + b) = 10000 - 27119 = -17119 \text{ N}$$

$$M_{II}(x) = -F * x + Rb * (x - b)$$

$$M_{II}(b) = -10000 * 0,719 + 27119 * 0 = -7190 \text{ Nm}$$

$$M_{II}(a + b) = -10000 * (0,719 + 0,42) + 27119 * 0,42 = 0 \text{ Nm}$$



Obrázek 17 – Graf rozložení smykové síly  $T$  a ohybového momentu  $M$  napříč nosníkem

$$\begin{aligned} \sigma_o &= \frac{|M_{max}|}{W_{o_x}} = \frac{|M_{max}|}{\frac{J_x}{e_x}} = \frac{|M_{max}|}{\frac{BH^3 - bh^3}{\frac{12}{H}}} = \frac{|M_{max}|}{\frac{BH^3 - bh^3}{6H}} \\ &= \frac{7190}{\frac{0,08 * 0,1^3 - 0,068 * 0,088^3}{6 * 0,1}} = 128,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} = \frac{310}{2} = 155 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o \leq \sigma_D$$

$$128,2 \leq 155$$

Pevnostní podmínka byla splněna. Hodnota ohybového napětí je menší než dovolené napětí. Zvolený minimální průřez tedy vyhovuje.

#### 5.1.4 Stanovení požadavků na hydraulický válec

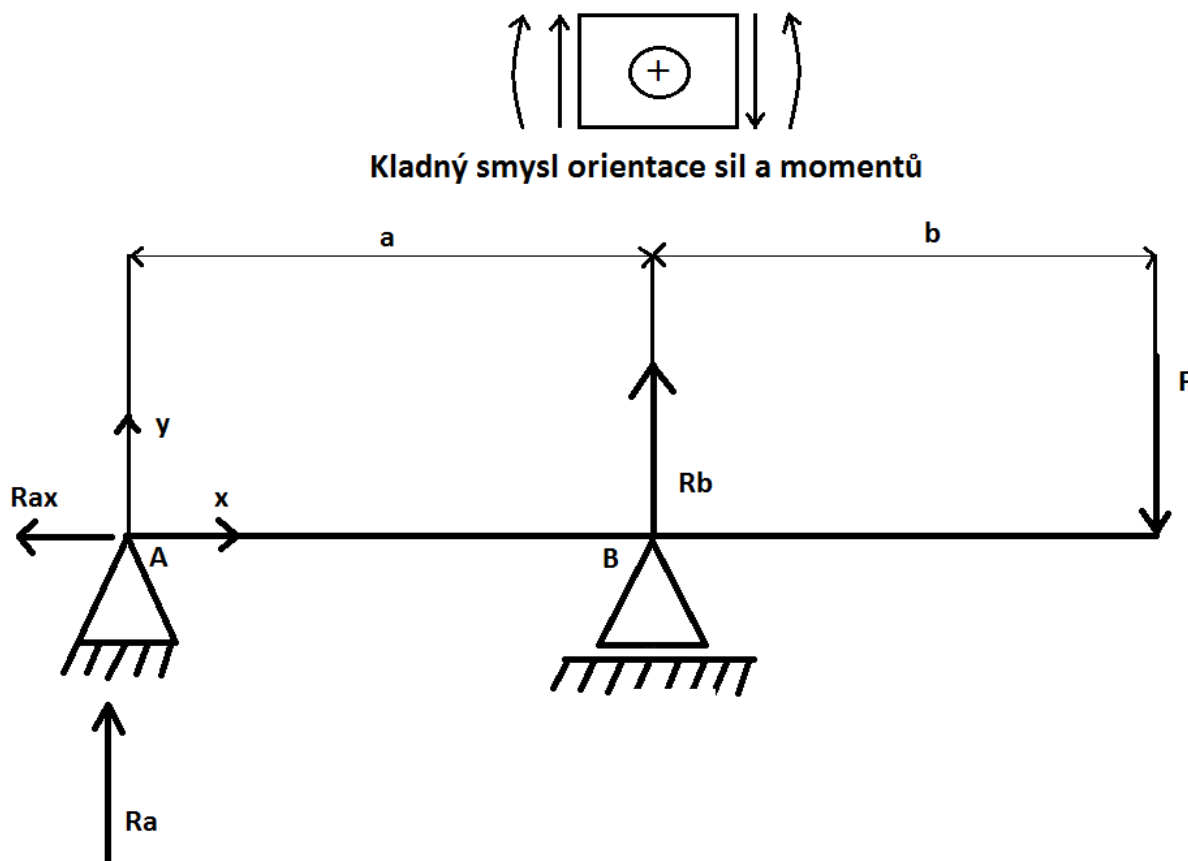
Z reakce v uložení B je patrné, že síla působící v místě uložení válce je 27119 N. Tato síla však působí pouze ve vertikálním směru. Při maximálním zatížení, kdy je rameno jeřábu v horizontální poloze, je válec vychýlen od svislice o úhel  $\alpha$ . Zanesením tohoto úhlu do výpočtu získáme skutečné zatížení  $M_z$  působící proti chodu válce.

Hydraulické válce se volí dle maximálního přípustného zatížení  $M_{dov}$  a požadovaného zdvihu. Hodnoty zatížení jsou běžně stupňovány po 1000 nebo 500 kg.

$$M_z = \frac{Rb}{g * \cos \alpha} = \frac{27119}{9,81 * \cos(30^\circ)} = 3192 \text{ kg} \Rightarrow M_{dov} \geq 3500 \text{ Kg}$$

#### 5.1.5 Stanovení osové vzdálenosti a minimálního průřezu kotvícího lana

Zjednodušené stanovení reakce v ukotvení lana:



Obrázek 18 - Zjednodušený výpočtový model pro výpočet ukotvení lana podélného ramene

**Dáno:**

$a = 490 \text{ mm}$

$b = 649 \text{ mm}$

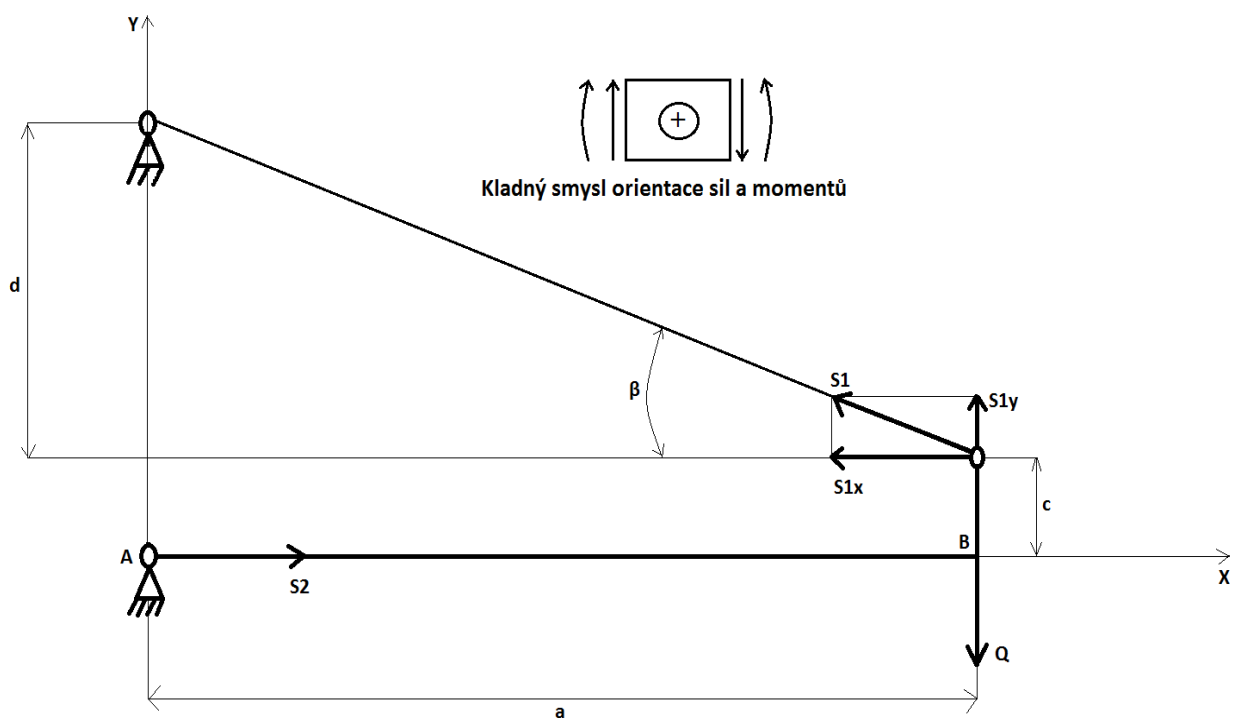
$F = 10000 \text{ N}$

**Podmínky rovnováhy:**

$$\begin{aligned} 1) \sum F_{ix} &= 0 \Rightarrow R_{ax} = 0 \\ 2) \sum F_{iy} &= 0 \Rightarrow R_a + R_b - F = 0 \\ 3) \sum M_{iA} &= 0 \Rightarrow F * (a + b) - R_b * a = 0 \end{aligned}$$

**Vyjádření reakce:**

$$Z\ 3) R_b = \frac{F * (a + b)}{a} = \frac{10000 * (0,49 + 0,649)}{0,49} = 23245\ N$$



Obrázek 19 – Zjednodušený výpočtový model stanovení průřezu kotvícího lana

**Dáno:**

a = 490 mm  
c = 101 mm  
Q = R<sub>b</sub> = 23245 N

**Podmínky rovnováhy:**

$$\begin{aligned} 1) \sum F_{ix} &= 0 \quad S_2 - S_1 * \cos(\beta) = 0 \\ 2) \sum F_{iy} &= 0 \quad S_1 * \sin(\beta) - Q = 0 \\ 3) \sum M_{iA} &= 0 \quad Q * a - S_1 * \cos(\beta) * c - S_1 * \sin(\beta) * a = 0 \end{aligned}$$

**Vyjádření vzájemné závislosti proměnných:**

$$Z\ 3) S_1 = \frac{Q * a}{\cos(\beta) * c + \sin(\beta) * a}$$

$$Z\ 1) S_2 = \frac{Q * a * \cos(\beta)}{\cos(\beta) * c + \sin(\beta) * a}$$

$$S_{1y} = S_1 * \sin(\beta)$$

$$S_{1x} = S_1 * \cos(\beta)$$

$$\beta = \arctg \frac{d}{a} \Rightarrow d = \operatorname{tg}(\beta) * a$$

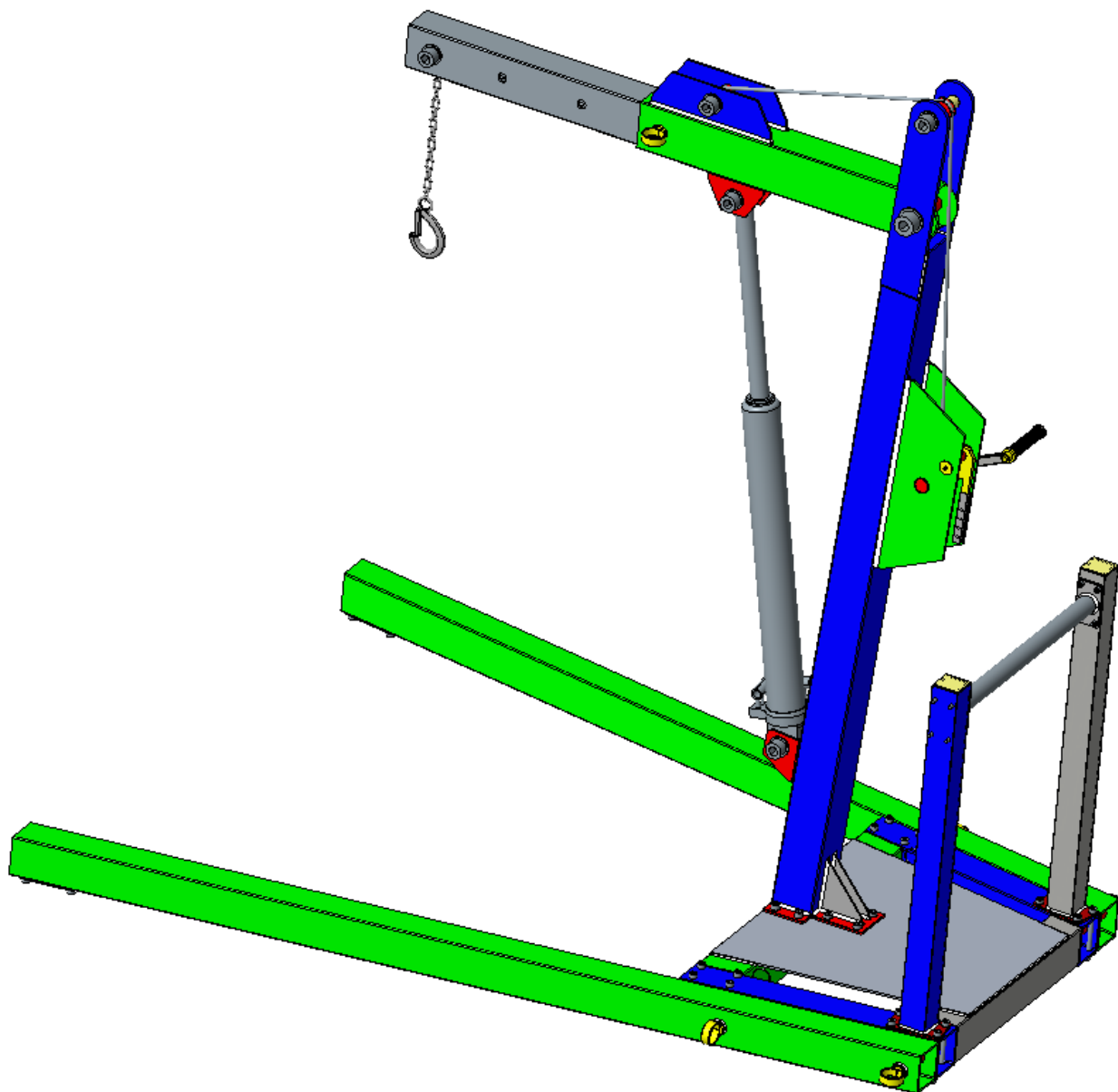
**Vyčíslení proměnných volbou parametru d:**

*Tabulka 7 – Tabulka výsledných hodnot pro osovou vzdálenost  $d+c = 0,24\ m$*

Q [N]	d [m]	d+c [m]	$\beta$ [°]	S1 [N]	S1y [N]	S1x [N]	S2 [N]
23245	0,14	0,24	16	49139	13506	47247	47247

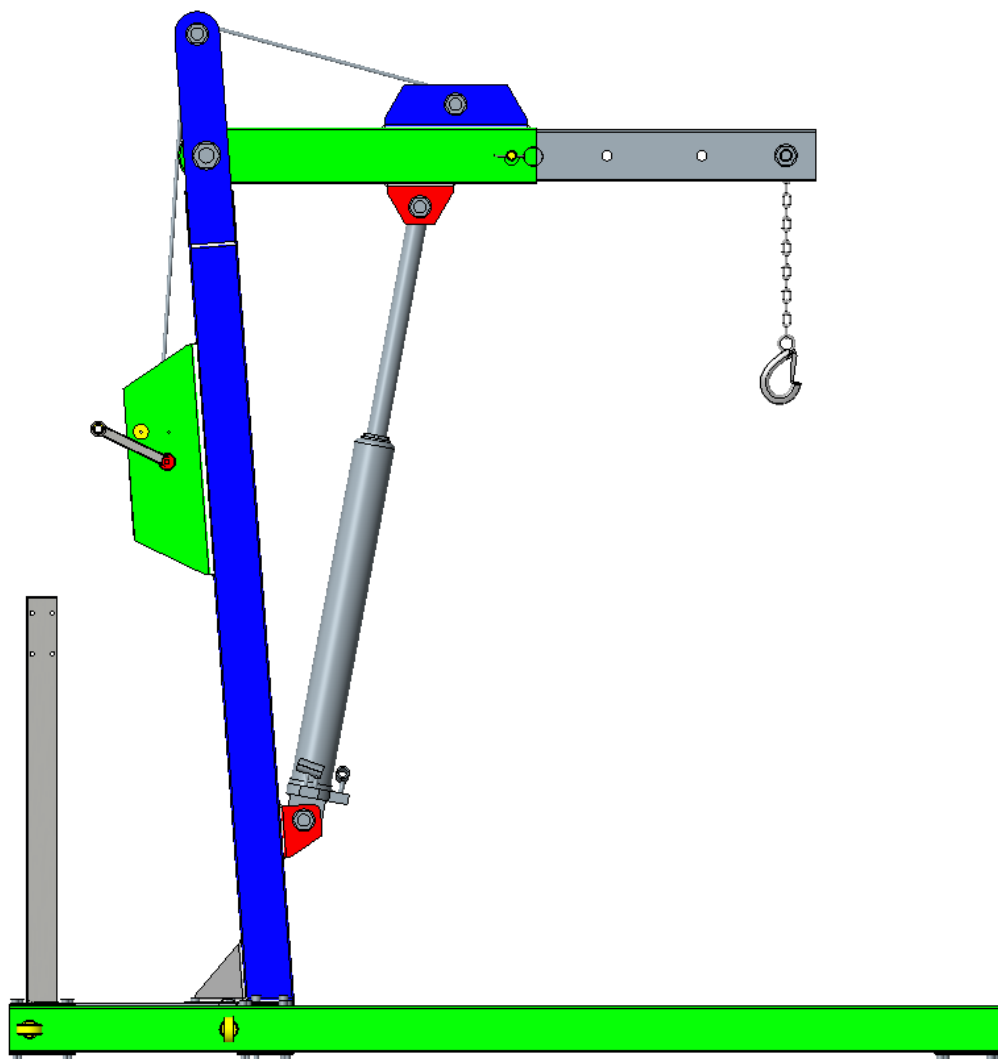
Z Tabulka 7 je patrné, že pro zvolený parametr  $d = 0,14\ m$  vychází síla v laně  $S_1 = 49,14\ kN$ . Minimální požadovaná jmenovitá únosnost lana v tahu tedy musí být větší než  $49,14\ kN$ . Vzhledem k dostupným průměrům lan bylo pro aplikaci zvoleno šestipramenné ocelové lano – Seal s duší  $\varnothing 8,0$  ČSN 02 4341 6X19 S IWRC s jmenovitou únosností  $50,6\ kN$  při jmenovité pevnosti drátu  $1770\ MPa$  [5].

## 5.2 Konstrukční provedení

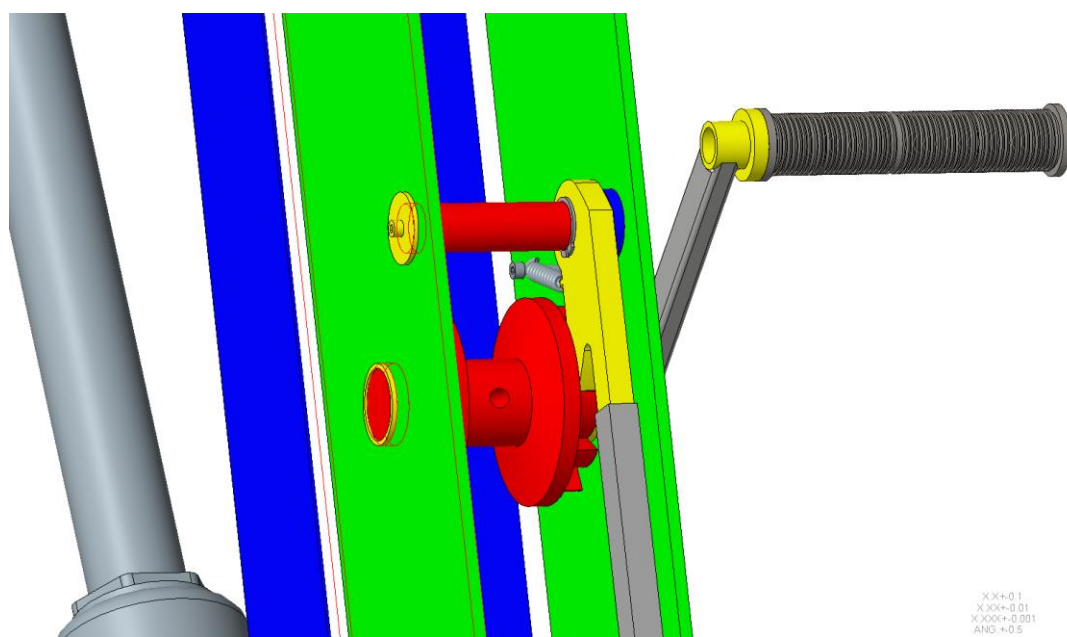


Obrázek 20 – Celkový pohled na sestavu jeřábu z perspektivy



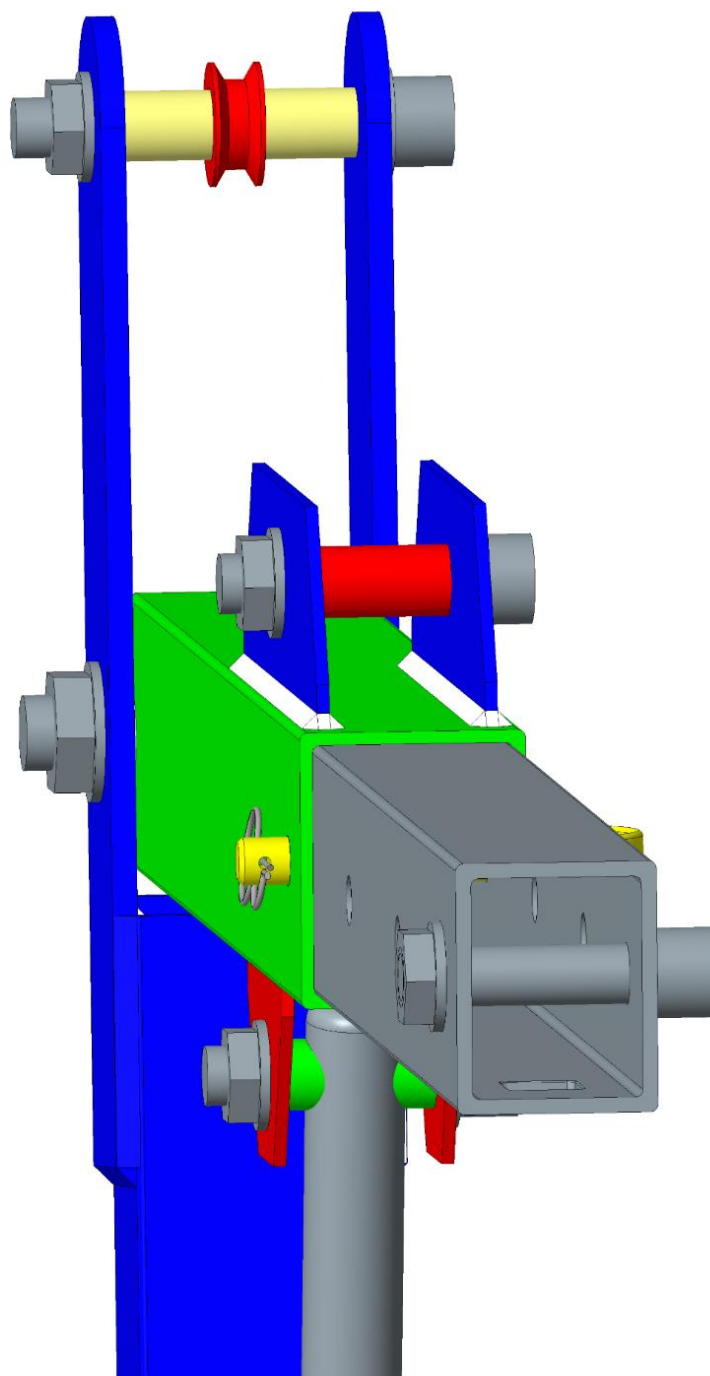


Obrázek 21 – Celkový pohled na sestavu jeřábu zprava



Obrázek 22 – Detailní pohled na pojistný mechanismus

X.X+0.1  
X.XX+0.01  
X.XXX+0.001  
ANG +/-0.5



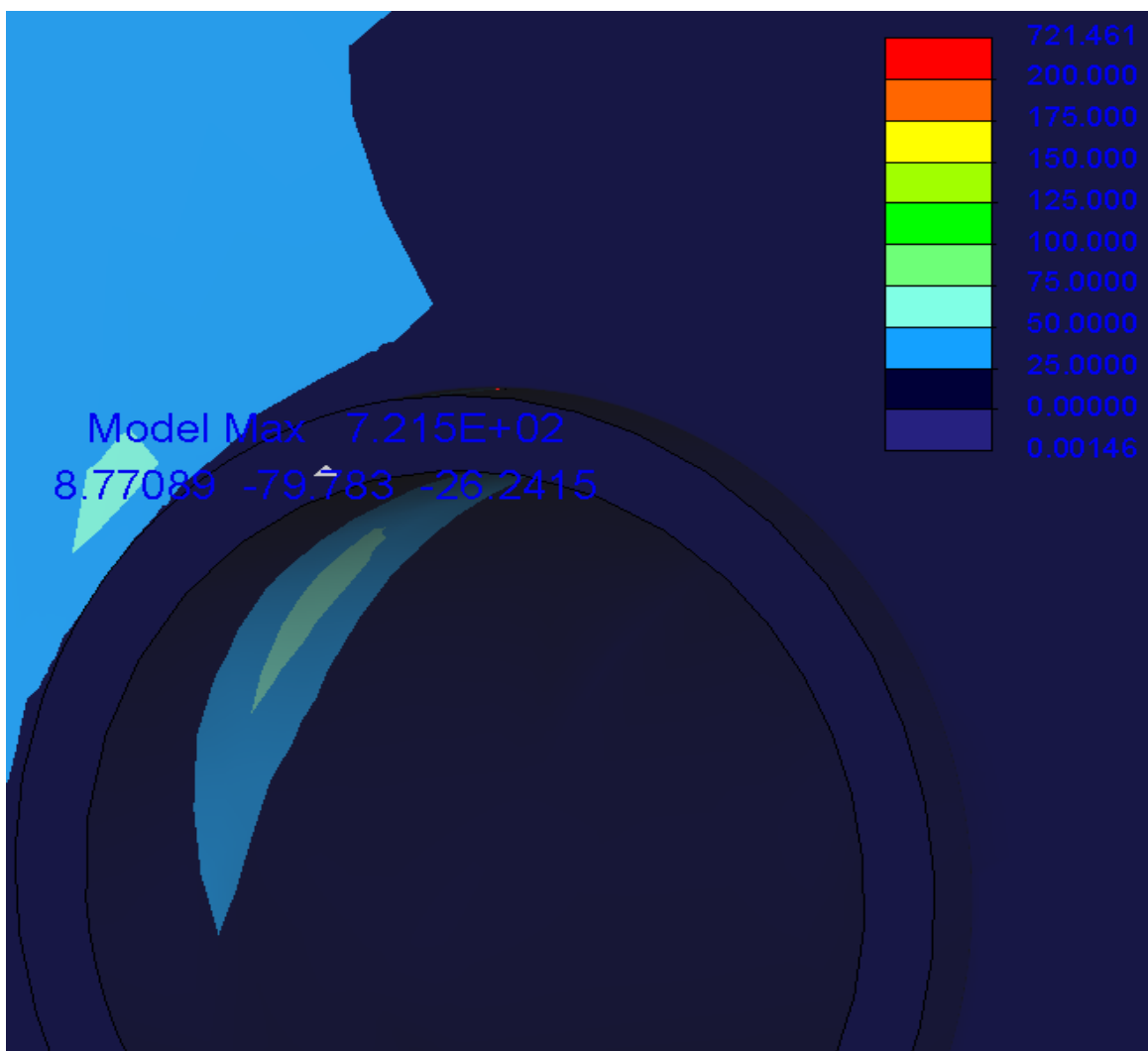
*Obrázek 23 – Detailní pohled na oblast podélného ramene*

### 5.3 Kontrola namáhání a deformací

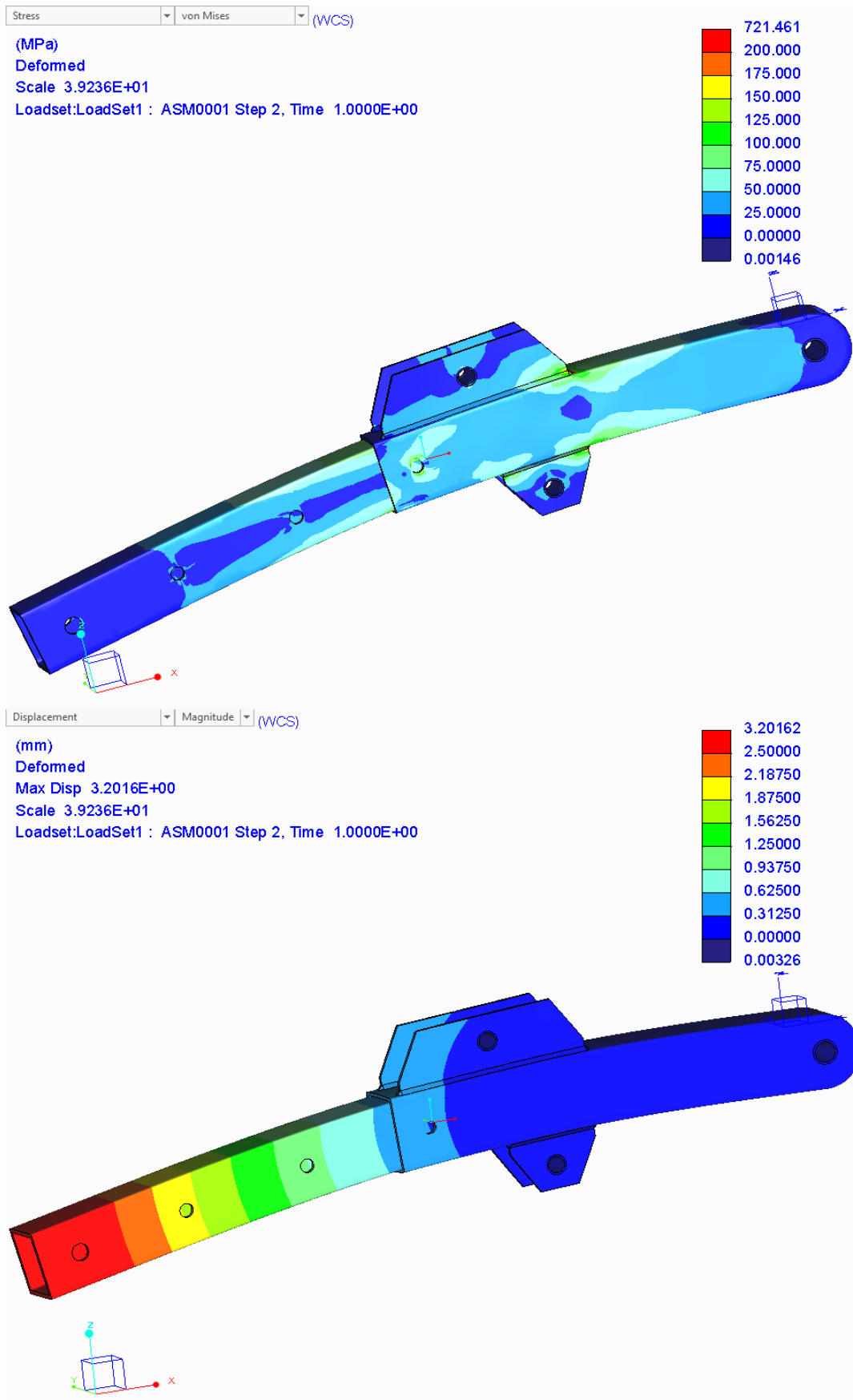
Vzhledem ke komplexnosti sestavy jeřábu a časové náročnosti kontroly sestav metodou MKP byla úloha kontroly namáhání a deformací zjednodušena. Objemová kontrola byla provedena pouze pro sestavu podélného ramene. Výsledky byly následně porovnány s ručními výpočty pro ověření jejich korektnosti. Kontrola celé sestavy jeřábu byla provedena s užitím idealizace pomocí jednoduchých profilů. Ověření správnosti výpočtů pomocí idealizace bylo prováděno porovnáváním výsledků idealizované sestavy podélného ramene s výsledky objemové kontroly téže sestavy.

#### 5.3.1 Kontrola sestavy podélného ramene objemovou metodou

Pro kontrolu byla z důvodu kontaktních ploch zvolena nelineární analýza metodou single pass adaptive. Za účelem zrychlení výpočtů nejsou definována zaoblení hran navářek a rozpěrek, což vede ke vzniku singularit zejména v oblastech svarů a ukotvení prvků simulace a je tedy nutno brát na tento fakt zřetel při vyhodnocování výsledků.



Obrázek 24 – Detail lokální chyby výpočtu redukovaného napětí metodou HMH [MPa] vlivem singularity



Obrázek 25 – Redukované napětí dle metody HMH [MPa] a celková deformace [mm] sestavy podélného ramene – objemově

Ra: 1.711831e+07  
Rb: 2.711824e+07

Obrázek 26 – Vypočtené reakce v uložení [mN]

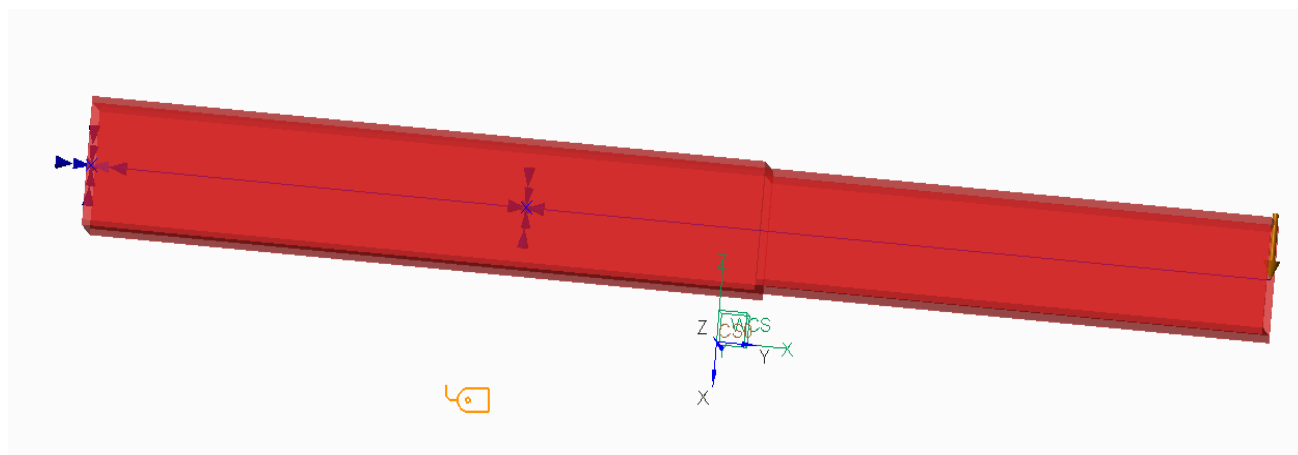
Tabulka 8 – Porovnání výsledných reakcí

	Ra [N]	Rb [N]
Ruční výpočet	17 119	27 119
MKP	17 118	27 118

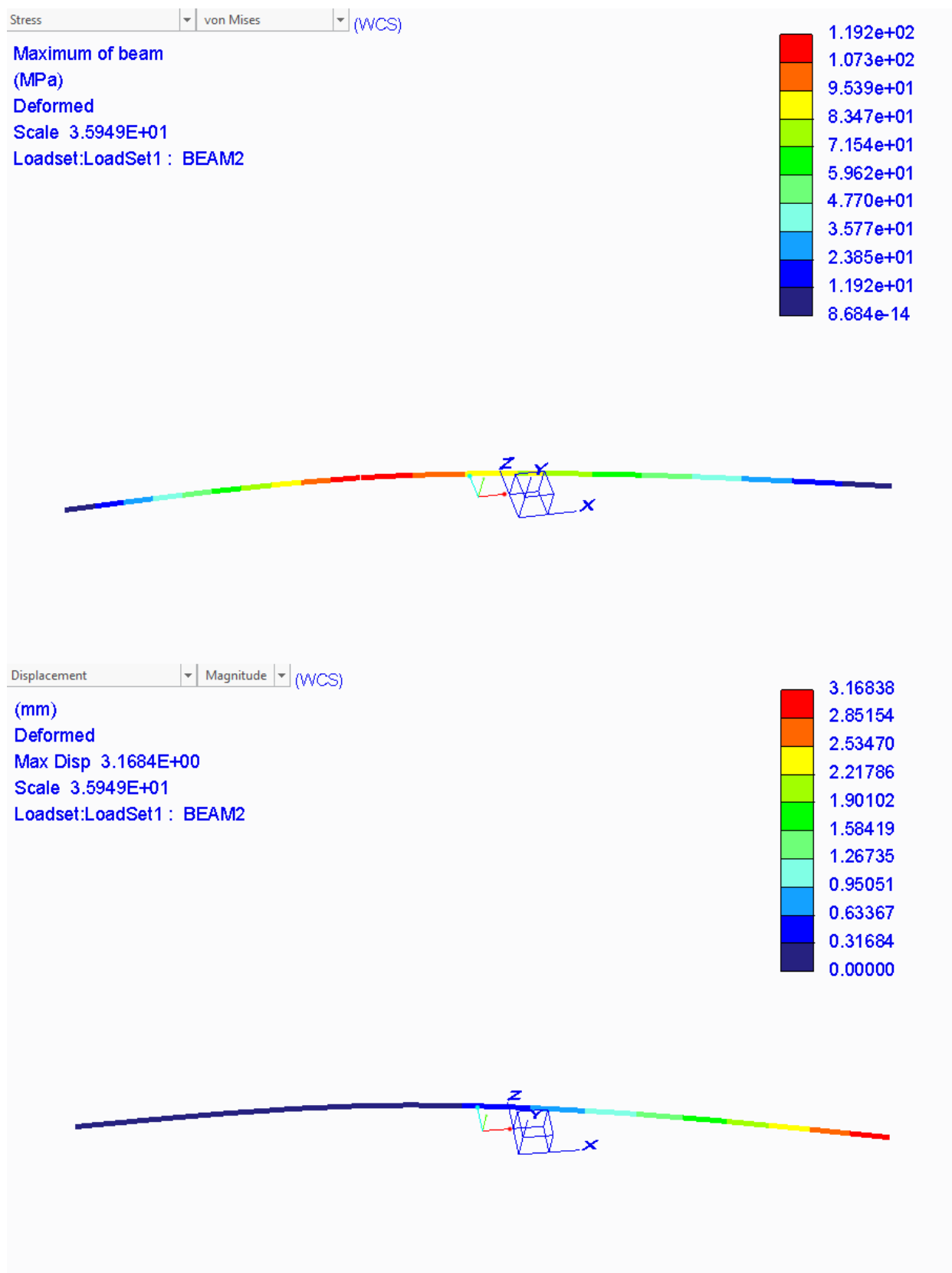
Porovnáním reakcí získaných z MKP a ručních výpočtů byla prokázána zanedbatelná odchylka hodnot v řádech tisícín procenta vzniklá vlivem zaokrouhlování při ručním výpočtu. Lze tedy předpokládat, že získané hodnoty reakcí jsou korektní.

### 5.3.2 Kontrola sestavy podélného ramene pomocí idealizace

V případě kontroly pomocí idealizace jednoduchými profily není při definici okrajových podmínek a zátěžných stavů uvažován objem, ale pouze centrální křivka, podél které tažením průřezu objem vzniká. Z toho vyplývá, že okrajové podmínky a zátěžné stavy přiřazované této křivce jsou převážně bodového charakteru a bude v místě jejich ukotvení docházet ke vzniku singularit. Tento fakt je nutno brát v potaz při vyhodnocování výsledků.



Obrázek 27 – Ukázka výpočtového modelu pomocí idealizace s definovanými okrajovými podmínkami



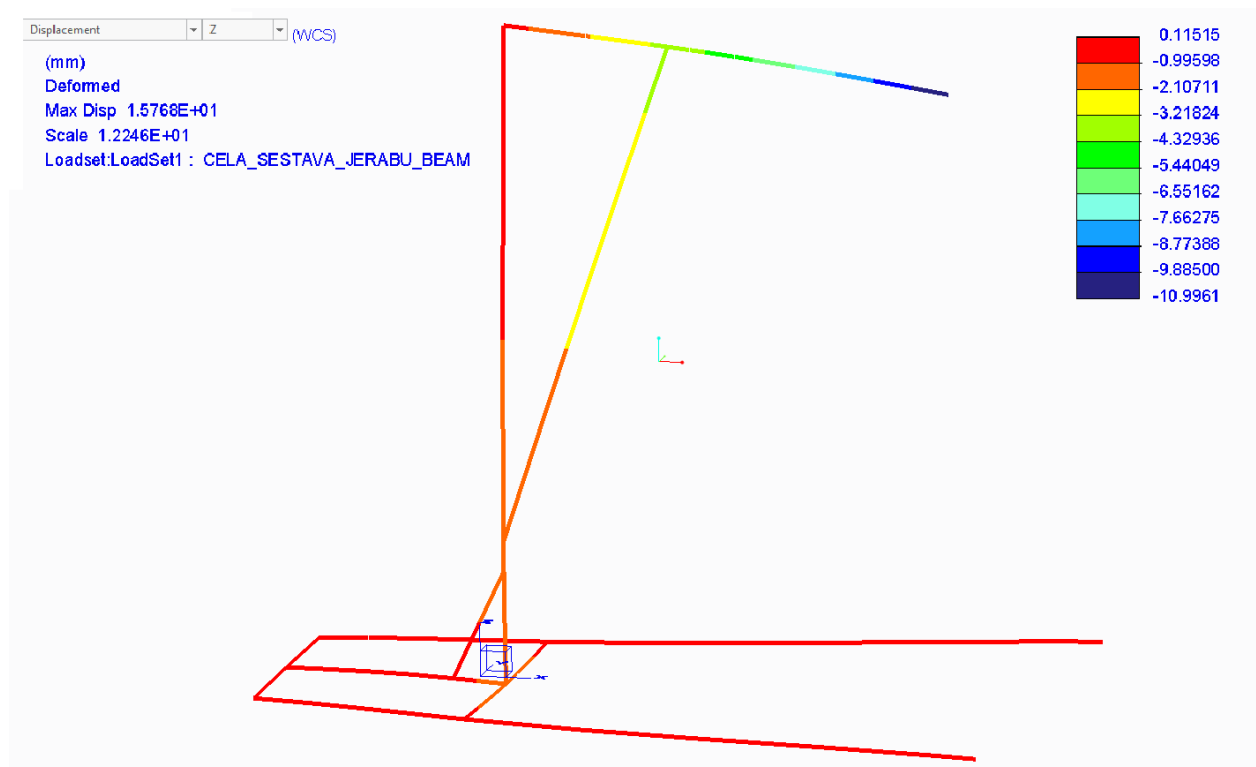
Obrázek 28 - Redukované napětí dle metody HMM [MPa] a celková deformace [mm] sestavy podélného ramene – idealizace

Tabulka 9 – Porovnání celkových deformací objemového a idealizovaného řešení

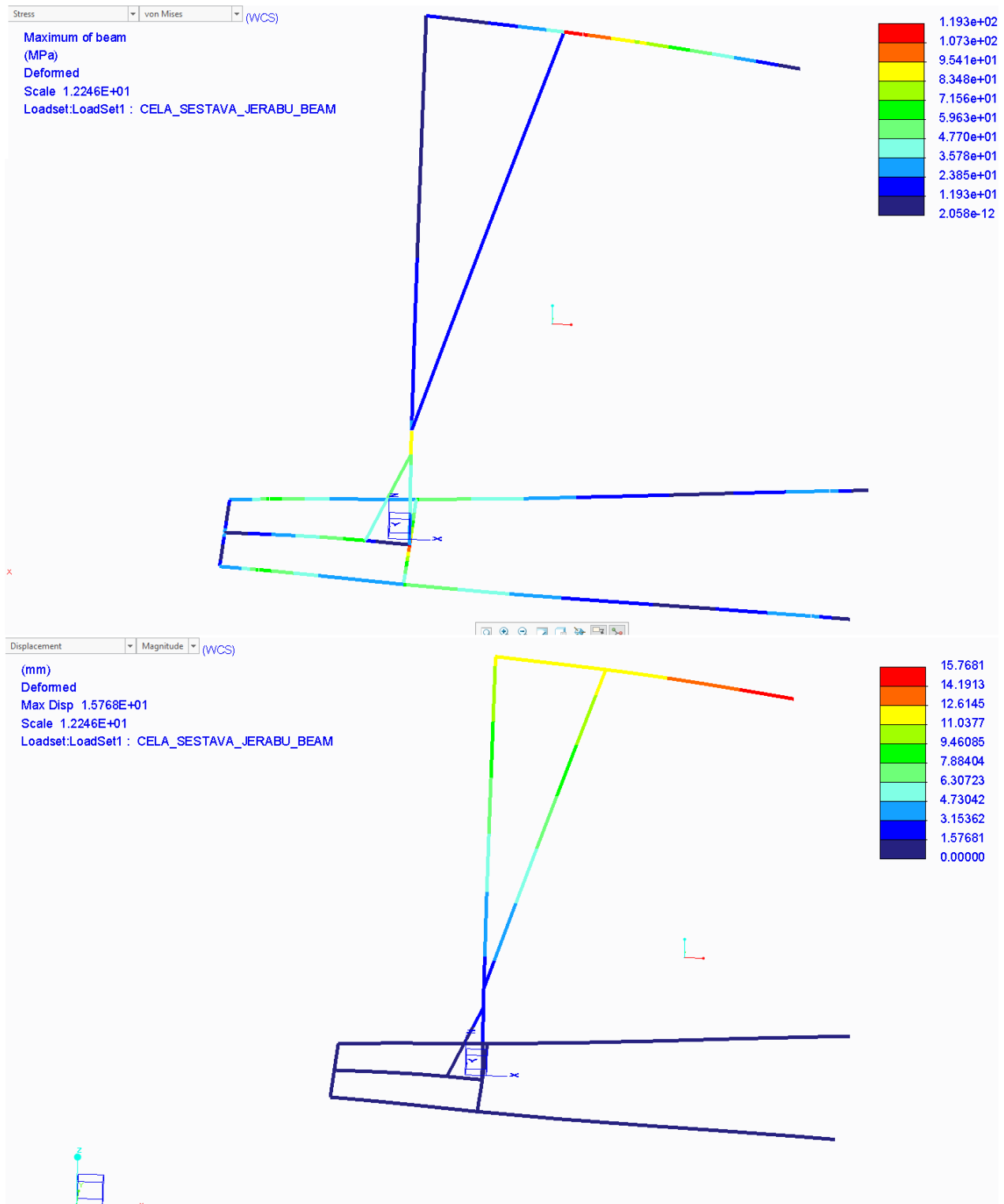
Řešení	Maximální deformace [mm]	Odchylka [%]
Objemové	3,202	1,1
Idealizované	3,168	

Porovnáním hodnot maximální celkové deformace objemového a idealizovaného řešení se prokázalo, že výsledná odchylka obou řešení není nijak výrazná a lze tedy idealizaci aplikovat pro celou sestavu jeřábu.

### 5.3.3 Kontrola sestavy jeřábu pomocí idealizace



Obrázek 29 – Deformace [mm] sestavy jeřábu ve svislém směru (osa Z) – idealizace



Obrázek 30 – Redukované napětí dle metody HMH [MPa] a celková deformace [mm] sestavy jeřábu – idealizace



### 5.3.4 Vyhodnocení kontroly namáhání a deformací

Sub-sestava podélného ramene byla vyhodnocena jako velice komplexní a namáhaná část jeřábu a byla proto zvolena pro detailní objemovou kontrolu. Sub-sestava vykázala hodnoty průhybu a napětí v předpokládaném rozsahu a reakce v uložení korespondovali s ručním výpočtem. Objemová kontrola zároveň posloužila, jako referenční výpočet pro ověření správnosti zvolených okrajových podmínek idealizovaného výpočtu. Idealizovaná kontrola sestavy podélného ramene a celého jeřábu následně prokázala, že sestava je vhodně navržena a z pevnostně deformačního hlediska vyhovuje požadavkům a je v tomto ohledu provozu schopná a je tedy možné postoupit k dalšímu hodnocení navržené konstrukce.

## 6 Ekonomické hodnocení konstrukčního provedení

Jedním ze základních požadavků na navrhovaný technický systém byly nízké pořizovací a provozní náklady. Ke splnění požadavků stanovených v rámci zadání (viz. Tabulka 10) bylo zvoleno konstrukční řešení využívající co možná největší množství normalizovaných dílů.

Tabulka 10 – Požadavky k manažerským informacím (výňatek z Tabulka 4, str. 15)

7. Pož. k manažerským informacím – k produktu, termínům, nákladům a legislativě:	
• Náklady	bez porušení,
- cena konkurenčních produktů	cca 15 000 Kč
- prodejní cena	cca 18 000 Kč
- cena na vývoj prototypu	cca 80 000 Kč
• Čas na vývoj a dodání	3 měsíce

Tabulka 11, Tabulka 12 a Tabulka 13 zobrazují rozepsané náklady pro jednotlivé komponenty a sestavu jeřábu jakožto celku. Uvedené hodnoty jsou rozpočítané maloobchodní ceny dle prodejcem udaných měrných jednotek. Pro ocelové profily je měrnou jednotkou běžný metr, pro spojovací materiál je měrnou jednotkou balení. Množství kusů v balení se pro jednotlivé spojovací materiály liší dle jejich rozměru. Rozměry plošných dílů (navářek) byly optimalizovány tak, aby se svojí plochou vešli na jednu tabuli plechu o rozměru 3000x1500x5 při zachování dostatečného technologického přídatku pro dělení. Z tohoto důvodu je v Tabulka 11 uvedena cena pouze u prvního plošného dílu a odpovídá hodnotě celé tabule plechu.

Vzhledem k tomu, že tato práce se nezabývá návrhem technologie a technologickým postupem výroby jsou náklady spojené s vyráběnými díly, obráběním a výrobou v tomto hodnocení zanedbány. Celkově bylo z kalkulace vynecháno sedm procent komponent.

Tabulka 11 – Kalkulace základního normalizovaného materiálu [6],[7],[8]

NORMA	KS	NÁZEV KOMPONENTU	PROFIL [mm]	DĚLKA [m]	MĚRNÁ JEDNOTKA (MJ)	POČET MJ	CENA MJ	CENA MJ / KS [Kč]	CELKEM [Kč]
ČSN 426935	2	podélná noha	90x90x5	1,99	metr	2	292,75	586	1171
ČSN 426935	2	nosník uchycení	90x90x5	0,5	metr	1	292,75	293	586
ČSN 426935	2	noha manipulačního madla	60x60x3	0,8	metr	1	122,44	122	245
ČSN 426935	1	příčnick kratší	90x90x5	0,56	metr	1	292,75	293	293
ČSN 426935	1	příčnick delší	90x90x5	0,72	metr	1	292,75	293	293
ČSN 425310	1	překlad	613,3x557x5	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	1776	1776
ČSN 425310	1	navářka svislého ramene	212x168x5	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	NA	NA
ČSN 425310	2	navářka nohy	120x75x5	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	NA	NA
ČSN 426935	1	svislé rameno	100x100x5	1,6	metr	2	328,55	657	657
ČSN 426935	1	podélné rameno vnější	110x90x5	0,7	metr	1	366,78	367	367
EN 10219	1	podélné rameno vnitřní	100x80x6	0,8	metr	1	344,28	344	344
ČSN 425310	2	navářka uchycení válce	100x80x5	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	NA	NA
ČSN 425311	2	navářka rohatky	453x150x5	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	NA	NA
ČSN 425312	2	navářka pro hák	280x85x5	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	NA	NA
ČSN 425313	2	navářka uchycení pístitnice	130x80x5	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	NA	NA
ČSN 425310	2	navářka uchycení podlne. ram.	455x88x10	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	80	160
ČSN 425315	6	úchyt podvozku	120x74x5	NA	ks (tabule plechu)	NA	1776	NA	NA
ČSN 425723	1	madlo	40x3	0,57	metr	1	87,5	88	88
EN 818	1	řetěz s hákem	6	0,5	metr	0,5	147	224	224
ČSN 024341	1	pojistné lano	8	1,26	metr	1,26	25,8	33	33
ČSN 425723	8	průchodka čepu	32x2	0,090	metr	0,090	33,97	3,06	24,46
ČSN 425723	2	průchodka rohatky	33,7x2	0,015	metr	0,015	35,8	0,54	1,07
ČSN 425723	1	průchodka podélného ramene	38x3	0,094	metr	0,094	59,28	5,57	5,57
ČSN 425723	1	rozpěrka kladky	28x2	0,096	metr	0,096	30,1	2,89	2,89
ČSN 425723	2	rozpěrka uchycení háku	28x2	0,072	metr	0,072	30,1	2,17	4,33
ČSN 425723	1	rozpěrka uchycení válce	28x2	0,082	metr	0,082	30,1	2,47	2,47
ČSN 426713	1	rozpěrka západky	30x3	0,005	metr	0,005	45,6	0,23	0,23
<b>Cena celkem</b>									<b>6276</b>

Tabulka 12 – Kalkulace normalizovaného spojovacího materiálu [9],[10],[11],[12],[13]

NORMA	KS	NÁZEV KOMPONENTU	MĚRNÁ JEDNOTKA (MJ)	POČET MJ	CENA MJ [kč/ks;balení]	CENA/KS [kč]	CELKEM [kč]
ČSN 021402	8	šestihranná matice malá M8	ks	8	0,78	0,78	6,24
ČSN 021402	8	šestihranná matice malá M12	ks	8	0,93	0,93	7,44
ČSN 021403	24	šestihranná matice nízká M10	ks	24	0,85	0,85	20,40
ČSN 021403	4	šestihranná matice nízká M24	ks	4	8,1	8,10	32,40
ČSN 021403	3	šestihranná matice nízká M4	ks	3	0,1	0,10	0,30
ČSN 022930	1	pojistný kroužek pro hřídel ø 20	ks	1	1,61	1,61	1,61
ČSN 021702A	4	podložka plochá ø 8,4	ks	4	0,28	0,28	1,12
ČSN 021702B	1	podložka plochá ø 4,3	ks	1	0,06	0,06	0,06
ČSN 021702B	4	podložka plochá ø 8,4	ks	4	0,28	0,28	1,12
ČSN 021702B	8	podložka plochá ø 10,5	ks	8	0,4	0,40	3,20
ČSN 021702B	8	podložka plochá ø 13	ks	8	0,5	0,50	4,00
ČSN 021702B	10	podložka plochá ø 25	ks	10	2,8	2,80	28,00
ČSN 021702B	2	podložka plochá ø 31	ks	2	4,59	4,59	9,18
EN 28675	1	šestihranná matice nízká M24	balení 25 ks	0,04	433,75	17,35	17,35
EN 28675	1	šestihranná matice nízká M30	balení 25 ks	0,04	519,5	20,78	20,78
ISO 4762	16	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M10x110	balení 10 ks	1,6	130,8	13,08	209,28
ISO 4762	8	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M10x20	balení 10 ks	0,8	33,6	3,36	26,88
ISO 4762	4	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M12x120	balení 10 ks	0,4	171,75	17,18	68,70
ISO 4762	4	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M12x20	balení 10 ks	0,4	47,85	4,79	19,14
ISO 4762	3	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M24x100	balení 10 ks	0,3	510,45	51,05	153,14
ISO 4762	1	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M24x110	balení 10 ks	0,1	538,6	53,86	53,86
ISO 4762	1	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M24x150	balení 10 ks	0,1	953,7	95,37	95,37
ISO 4762	1	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M30x150	balení 10 ks	0,1	4350,6	435,06	435,06
ISO 4762	1	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M4x30	balení 10 ks	0,1	11,7	1,17	1,17
ISO 4762	2	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M4x50	balení 10 ks	0,2	17,7	1,77	3,54
ISO 4762	1	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M4x8	balení 10 ks	0,1	6	0,60	0,60
ISO 4762	8	šroub s válcovou hlavou s vnitř. šestihranem M8x75	balení 10 ks	0,8	57,9	5,79	46,32
DIN 11024E	1	závlačka pružná 4x60	ks	1	3,1	3,10	3,10
DIN 11024E	2	závlačka pružná 5x85	ks	2	6,76	6,76	13,52
						<b>Cena celkem</b>	<b>1283</b>

Tabulka 13 – Kalkulace materiálu nepodléhajícího normám[14],[15],[16],[17],[18]

KS	NÁZEV KOMPONENTU	CENA/KUS [kč]	CELKEM [kč]
1	hydraulický válec 4t	1199	1199
2	kluzná podložka 30mm	15	30
2	kluzná podložka	12	24
2	záslepka nohou madel	25	50
1	kladka	103	103
1	madlo kličky	15	15
1	madlo západky	12	12
1	pružina západky	35	35
2	podložka osy západky	15	30
		<b>Cena celkem</b>	<b>1498</b>

Tabulka 14 – Sumarizace nákladů

<b>Celkem naceněných komponent kusovníku</b>	<b>93%</b>
<b>Celkové cena materiálu naceněných komponent</b>	<b>9057 Kč</b>

Jak z Tabulka 14 vyplývá, celková částka naceněných komponent odpovídá přibližně polovině požadované prodejní ceny (viz. Tabulka 10). Lze tedy předpokládat, že vzniklá rezerva nákladů je dostatečná pro pokrytí zbylého materiálu a výrobních nákladů při zachování adekvátní prodejní marže. Zároveň je nutno brát v úvahu, že materiálové náklady v případě reálné výroby by se výrazně lišily vlivem zásadních rozdílů mezi velkoobchodními a maloobchodními prodejními cenami, dle kterých byla kalkulace provedena. Tento fakt se nejvýrazněji projevuje u cen hutních a spojovacích materiálů. Z finančního hlediska tedy došlo k naplnění shody s požadavky a lze usuzovat, že navrhovaná konstrukce je ekonomicky proveditelná.

## 7 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout technické řešení nízkonákladového dílenského manipulačního jeřábu pro menší břemena s ruční manipulací.

V úvodní kapitole se nachází základní zjednodušené uvedení do problematiky drobných manipulačních jeřábů.

Třetí kapitola se zabývá rozpracováním zadání v podobě popisu základních funkčních principů a jejich typických provedení, následované průzkumem trhu a volbou tří odlišných koncepčních variant provedení, jakož to referenčních, pro specifikaci požadavků na navrhovaný technický systém.

Čtvrtá kapitola se zaměřuje na koncepční návrh technického systému. Základem je stanovení provozně transformačního procesu a návrh technologie umožňující splnění všech požadavků tohoto procesu. Následuje specifikace požadovaných funkcí a jejich možných nositelů (orgánů).

Na základě stanovené orgánové struktury byly navrženy tři odlišné koncepční varianty, u kterých bylo následně provedeno subjektivní hodnocení shody s požadavky. Koncepční varianta s nejvyšším stupněm shody byla detailně analyzována a nalezená potenciální rizika odstraněna. Zda po odstranění rizik skutečně došlo ke zlepšení shody s požadavky, bylo následně ověřeno pomocí zjednodušené analýzy SWOT.

Kapitola pět se skládá ze základních výpočtů pro vhodné dimenzování vybraných komponent a orientační odhadnutí adekvátních rozměrů zbylých součástí. Dále pak zahrnuje ukázkou finálního konstrukčního provedení pro zlepšený stav zvolené koncepční varianty ve formě 3D modelu.

Kapitola je zakončena detailní objemovou kontrolou vybraných komponent pomocí MKP. Pro kontrolu celé sestavy jeřábu byl nahrazen objem součástí idealizací. Ověření správnosti jednotlivých kontrol bylo provedeno porovnáním výsledků získaných z objemových kontrol s idealizovanými a s ručními výpočty. Výsledky se v rámci očekávaných a přijatelných odchylek shodovali a lze je tedy považovat za korektní.

Šestá kapitola se stává ze zjednodušené ekonomické studie proveditelnosti. Studie si klade za cíl ověřit, zda materiálové náklady umožňují dodržení stanovených nákladů na vývoj a předpokládanou prodejní cenu. Vyhodnocením studie se ukázalo, že materiálové náklady tvoří přibližně polovinu předpokládané prodejní ceny a nechávají tak dostatečný prostor pro zanedbané náklady spojené s výrobou při zachování adekvátní marže.

Závěrem lze konstatovat, že navržený TS vyhovuje, jak z hlediska specifikovaných, tak napěťově deformačních požadavků. Je však nutné brát v úvahu značné zjednodušení některých aspektů, zejména co se výpočtů, kontroly a nákladů týče. V případě realizace výroby a uvedení TS na trh, by bylo nutné finální konstrukční návrh podrobit podrobnějším kontrolám z různých hledisek. Tyto kontroly by byly vhodným předmětem pokračování této práce.

### Doporučení pro další pokračování práce

- Kontrola technologičnosti navrhovaného TS
- Kontrola návrhu z hlediska ergonomických a BOZP norem
- Optimalizace konstrukce na základě ekonomického hodnocení
- Úpravy modelu dle nakupovaných komponent (pojezdová kola, protiskluz. rukojeti, aj.)
- Detailní objemová kontrola MKP každé součásti
- Zátěžové a funkční zkoušky prototypů

## 8 Zdroje

### 8.1 Internetové

- [1] Dílenský jeřáb s podvozkem na palety. *Manutan* [online]. [cit. 2019-10-6]. Dostupné z: <https://www.manutan.cz/cs/mcz/dilensky-jerab-s-podvozkem-na-palety-do-1-000-kg>
- [2] Dílenský jeřáb s nůžkovým podvozkem. *Kwesto*. [online]. [cit. 2019-10-6]. Dostupné z: <https://www.kwesto.cz/zvedaci-zarizeni/dilenske-jeraby/dilensky-jerab/p/M31061/#filternames%5B%5D%3Dnosnost%20%5Bkg%5D&filtervalues%5B%5D%3D1000>
- [3] Dílenský sloupový jeřáb s protizávažím. *KPC Group*. [online]. [cit. 2019-10-6]. Dostupné z: <https://www.kpc.cz/cs/produkty/sloupove-jeraby/rucni-sloupovy-jerab-250kg-28m.aspx>
- [4] Tabulky specifikace požadavků a SWOT. *Portál ZČU*. [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: [https://portal.zcu.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc\\_pagenavigationalstate=AAAAAQAGNTUzODY2EwEAAAABAAhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjIzMzcyMDM2ODU0NzcxNTc0AAAAA A\\*\\*#prohlizeniSearchResult](https://portal.zcu.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc_pagenavigationalstate=AAAAAQAGNTUzODY2EwEAAAABAAhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjIzMzcyMDM2ODU0NzcxNTc0AAAAA A**#prohlizeniSearchResult)
- [5] Volba lana. *Lana Pecko*. [online]. [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: [http://www.lana-pecko.cz/download/ocelova\\_lana\\_katalog\\_2011.pdf](http://www.lana-pecko.cz/download/ocelova_lana_katalog_2011.pdf)
- [6] Konstrukční materiál. *Ferrum Plzeň*. [online]. [cit. 2020-1-10]. Dostupné z: <http://proxy.ferrum.cz/iSystem.NET/Produkty/ProduktyKategorie.aspx>
- [7] Kotvící hák. *Monteco*. [online]. [cit. 2020-1-10]. Dostupné z: <https://www.monteco.cz/shop/hak-retezovy-s-cepem-wa-6/pro1924.html>
- [8] Řetěz vázací. *Monteco*. [online]. [cit. 2020-1-10]. Dostupné z: <https://www.monteco.cz/shop/retez-metrazni-trida-8-pr-6-mm/pro2560.html>
- [9] Šrouby ISO 4762. *Pematex*. [online]. [cit. 2019-1-11]. Dostupné z: <https://www.sroubyonline.cz/spojovaci-material/srouby/srouby-s-valcovou-hlavou/din-912-ocel-8-8-zinek-bily>
- [10] Závlačka pružná. *Briol*. [online]. [cit. 2020-1-11]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/zavlacka-pruzna-jednoducha-din-11024>
- [11] Šestihránná matice nízká. *Reca spol. s r.o.*. [online]. [cit. 2020-1-11]. Dostupné z: <https://shop.reca.cz/catalog/category/view/s/din-439-forma-b-pevn-tr-04-bpu/id/105476/>
- [12] Podložky normalizované. *Obchod pro řemesla*. [online]. [cit. 2020-1-11]. Dostupné z: <https://www.obchodproremesla.cz/podlozka-plocha-csn-02-1702-din-125-p6198/>
- [13] Šestihránná matice nízká. *Pematex*. [online]. [cit. 2020-1-11]. Dostupné z: <https://www.sroubyonline.cz/nizke-matice>

[14] Hydraulický válec 4t. Bonatrade. [online]. [cit. 2020-1-11]. Dostupné z: <https://www.bonatrade.cz/hydraulicky-valec-pumpa-4t-dvojcinna-oko-oko-geko/>

[15] Podložky plastové. Mateza spol. s.r.o.. [online]. [cit. 2020-1-11]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/ostatni-prislusenstvi/podlozky/podlozky-plastove?start=15>

[16] Záslepky nohou. Kondor. [online]. [cit. 2020-1-20]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/zatka-plast-vl-60x60x15-35/d-77901/>

[17] Madla. Europlast CZ s.r.o.. [online]. [cit. 2020-1-20]. Dostupné z: <http://www.europlast-beran.cz/4883-rukojeti/9512-serie-02/>

[18] Pružina západky. Mateza spol. s.r.o.. [online]. [cit. 2020-1-21]. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/ostatni-prislusenstvi/pruziny/pruziny-tazne>

## 8.2 Knižní

[19] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra, 2011. 5. upr. vyd. ISBN 978-80-7361-081-4